

تاریخ صنعت و اختراع

جلد پنجم

تکنیکهای تمدن صنعتی

تغییر شکل ـ ارتباطات ـ عامل انسانی

به کوشش

موریس دوما و گروهی از کارشناسان

مقدمه از: موریس دوما

ترجمه عبدالله ارگانی

بسم الله الرحمن الرحيم



تاریخ صنعت و اختراع

تاریخ صنعت و اختراع

جلد پنجم

تکنیکهای تمدن صنعتی

تغییر شکل
ارتباطات
عامل انسانی

به کوشش
موریس دوما و گروهی از کارشناسان

مقدمه از : موریس دوما
ترجمهٔ عبدالله ارگانی



مؤسسه انتشارات امیرکبیر
تهران، ۱۳۷۸

دوما، موریس،   ویراستار
Dumas, Maurice
تاریخ صنعت و اختراع / اثر گروهی کارشناسان؛ ویراستار موریس دوما؛ ترجمه **عبدالله ارگانی**. ــ
تهران: امیرکبیر، ۱۳۶۲ ـ ۱۳۷۸.
۵ ج. : مصور، عکس.
۱۴۰۰۰۰ ریال (دورهٔ ۵ جلدی).
ISBN 964-00-0107-4 (دوره ۵ جلدی).
ISBN 964-00-0427-8 (ج. ۱) .- ISBN 964-00-0428-6 (ج. ۲) .-ISBN 964-00-0429-4 (ج. ۳).
ISBN 964-00-0430-8 (ج. ۴) .- ISBN 964-00-0431-6 (ج. ۵)
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
عنوان اصلی: History generale des techniques = A history of technology & invention ...
کتابنامه.
مندرجات: ج. ۱. مبانی تمدن صنعتی. ــ ج. ۲. مراحل نخستین ماشینیسم. ــ ج. ۳. پیشرفت ماشینیسم. ــ ج. ۴. تکنیکهای تمدن صنعتی: انرژی و مواد. ــ ج. ۵. تکنیکهای تمدن صنعتی: تغییر شکل ارتباطات عامل انسانی.
ج. ۱ (چاپ دوم: ۱۳۷۸)، ج. ۲، ۳، ۴، ۵ (چاپ اول: ۱۳۷۸).
۱. تکنولوژی ــ تاریخ. ۲. صنعت ــ تاریخ. ۳. اختراعات ــ تاریخ. الف. **ارگانی، عبدالله**، ۱۳۰۲ ـ ، مترجم. ب. عنوان.
۶۰۹   T ۱۵ / ۲ ت ۹ د
۱۳۶۲
کتابخانه ملی ایران   **م۶۴-۳۱۰۲**



تاریخ صنعت و اختراع (جلدپنجم)
بهکوشش موریس دوما و گروهی از کارشناسان
مقدمه از: موریس دوما
ترجمهٔ عبدالله ارگانی

چاپ اول: ۱۳۷۸
آماده سازی: واحد تولید امیرکبیر
چاپ و صحافی: چاپخانهٔ سپهر، تهران
تیراژ: ۱۵۰۰ نسخه

ISBN 964-00-0107-4 (5vol.set)   ISBN 964-00-0431-6 (vol.5)
شابک ۶-۰۴۳۱-۰۰-۹۶۴ (جلدپنجم)   شابک ۴-۰۱۰۷-۰۰-۹۶۴ (دورهٔ۵جلدی)

مؤسسه انتشارات امیرکبیر تهران، خیابان بهارستان پلاک ۴۸۹

فهرست

پیشگفتار

در پایان چنین اثری، طبیعی است که این پدیدهٔ سرشار از تحول، که از نخستین تظاهرات آن تا نمونه‌های درخشندهٔ کنونی دنبال شده است، در مجموع، مورد بررسی قرار گیرد. تابلوی این تحول لااقل تا زمان حاضر، کامل است و با کمی کوشش می‌توان چگونگی ساخت آن را دریافت. مسائل گوناگون دیگری نیز مطرح هستند.

بدون اینکه به نواقص چنین کاری، که استنتاجات آن ناگزیر در ارتباط با گسترش اطلاعات، تصحیح خواهند شد، اشاره کنیم که می‌توان به دستاوردهایی که در چهار مجلد گذشته ارائه شده‌اند بسنده کرد و در آن بویژه پاسخ این پرسش را یافت که آیا تحول تکنیکها، براساس قوانین کلی بدون تغییر یا متکامل انجام می‌گیرد، یا در نوعی آشفتگی پیوسته؟

در عصر کنونی برخوردهای گوناگونی نسبت به تکنیکها به‌چشم می‌خورد؛ کسانی که آورندهٔ تکنیکها هستند یا آنها را به‌کار می‌گیرند بی‌تردید کمترین دلواپسی از خود نشان نمی‌دهند؛ گرچه نمی‌توان گفت که هیچ مسأله‌ای با تکنیک ندارند. اما کسانی که جز در محدودهٔ زندگانی روزمره خود، سروکاری با تکنیک ندارند و تا حدودی آنان را می‌توان وسواسی و نگران به‌شمار آورد، پرسشهای گوناگونی دارند، از جمله اینکه «تکنیک، بالاخره تا کجا به پیش خواهد رفت؟» که برخاسته از دیدی است که در تمدن صنعتی، وضع انسان، تنها می‌تواند بدتر شود.

در این‌جا قصد آن نداریم که بگوییم که تکنیک برای انسان، خوب است یا بد و دربارهٔ مضرات آن برای انسان سخن برانیم. این مسائل در همه‌جا به فراوانی، اما به‌شکل گفت‌وگوهای ناشنوایان

با یکدیگر به بحث کشیده شده‌اند و در نتیجه به جایی نرسیده‌اند. مسأله ما این است که تکنیک چگونه به‌وجود می‌آید. در این اثر، همهٔ عناصر ضرور برای پاسخ گردآوری نشده‌اند، وانگهی در هر مجلد دراین‌باره سخن گفته‌ایم. با این‌حال، برآنیم که بعضی از عناصر بنیانی آن، لااقل آنهایی را که کمتر شناخته شده‌اند، بشناسایم.

آیا می‌توان گفت که تحول تکنیکها، منطق خاص خود را داشته است و هنوز هم آن منطق را دنبال می‌کند؟ تا حدودی می‌توان به پرسش بالا پاسخ مثبت داد. لااقل می‌توان اندیشید که خلاقیت تکنیک، انگیزه‌های اساسی خود را دارد، اما این بدین معنی نیست که تکنیک تحت تأثیر عوامل خارجی که مهمترین آنها عوامل اجتماعی و اقتصادی هستند، قرار نمی‌گیرد.

درحقیقت، برای اینکه با طرز کار این منطق پیشرفت، به‌اندازه کافی آشنا شویم باید مبانی آن را بشناسیم ـ کاری که امکان‌ناپذیر است. درواقع تا آنجا که توانسته‌ایم در اعماق تاریک تاریخ به پیش برویم، همه‌جا با تظاهراتی از اجتماعات سازمانیافته روبه‌رو بوده‌ایم؛ تظاهراتی که اساساً با شواهد مادی خصلت تکنیک، مشخص شده‌اند: کار روی مواد طبیعی، استخراج فلزات، به‌کار گرفتن آهن، عمل شکار، میوه‌چینی، کشت گیاهان و . . .. با اطلاعاتی که از دوران باستان داریم می‌دانیم که در آن زمان مجموعه‌ای تکنیکی وجود داشت که ما از سرچشمه و جریانهای تکاملی ساختارهای آن آگاه نیستیم، اما می‌دانیم که برای این دورانها، عوامل اجتماعی در تحول تکنیکها مؤثر بوده‌اند. دقیقتر بگوییم، ما ثابت کردیم که کار تقریباً همگانی برده‌داری، این تحول را لااقل در قسمت تکنیکهای تولید متوقف ساخته بود. تکنیکهای ارتباطات را جاه‌طلبیهای اقتصادی، سیاسی و نظامی به پیش برده‌اند.

یک مجموعهٔ تکنیک دیرین: در اواسط هزارهٔ نخست پس از میلاد، مجموعه‌ای تکنیکی، که آشکارا تثبیت شده بود در دسترس همهٔ جوامع سازمانیافتهٔ آن زمان قرار داشت. این مجموعه مستقیماً برخاسته از وسایل جهان دیرین برای تولید نعمات مصرفی بود که در اصل، بقای افراد را تأمین می‌کرد و افزایش کمی انواع را سبب می‌شد. این تکنیک دیرین، همگن بود و تباین و تنش درونی آشکاری نداشت. تکنیکی متعادل بود، بدین معنی که نشانی از نطفه‌های تحول درون آن نبود. هیچ عنصر دقیقاً تکنیکی که بر عناصر دیگر یا بر مجموعهٔ این تکنیک، برای شکستن تعادل و تحریک به پیشرفت فشار آورد در آن وجود نداشت. اما، این ثبوت، محققاً چیزی جز یک ظاهر فریبنده نبود. درواقع اگر کل پدیدهٔ تحول تکنیک را در نظر آوریم معلوم می‌شود که این پدیده هرگز دستخوش بحران واپس‌نشینی نبوده است. در ادوار گذشته، هرگز اتلاف اطلاعات،

واپس‌نشینی وسایل تولید، در حدی که مجموعهٔ تکنیک را از لحاظ کیفیت و بازدهی تولید نسبت به دورهٔ پیش از خود، به سطح پایینتری تنزل دهد وجود نداشته است. اگر حوادث بزرگ نظامی و اجتماعی توانسته‌اند دستاوردهای تکنیکی بعضی تمدنها را به‌خطر اندازند (مثلاً درهم شکسته شدن امپراطوری روم) باید گفت که این، واقعهٔ منفرد و محدود در ابعاد زمانی و جغرافیایی بوده است و تنها، به نوعی اتلاف زودگذر جوهر تکنیک انجامیده است که تقریباً بزودی و بخوبی جبران شد. انسان، هرگز ناگزیر از تدارک دوبارهٔ یک دانش تکنیکی، که یک آشفتگی موجب از دست رفتن آن برای چند نسل بوده، نشده است. در این زمینه، انتقال مستقیم سینه به سینه هیچ‌گاه از پا ننشسته است.

منطق ذاتی تحول یک مجموعهٔ تکنیکی، شامل فرایند انتقال دستاوردها از کشورهای نوآور به کشورهای دیگر است. دستاوردهای تکنیکی تمدن غربی، گویا در نخستین سده‌های پس از میلاد، تقریباً هم وزن این دستاوردها در شرق بود. سپس نوعی عدم توازن به سود تمدنهای شرقی پدید آمد. به‌مدت چند سده تکنیکها در مغرب‌زمین، شبه راکد می‌نمودند که در حقیقت نوعی تحول فوق‌العاده بطیء بود. در همین دوران، در مشرق‌زمین، تکنیکها به پیشرفت خود در بعضی زمینه‌های مطلوب ادامه دادند، گرچه خصلت قدیمی و کهنه خود را حفظ کردند زیرا هیچ‌یک از وسایل استخراج و نیز تبدیل قدیمی مواد، با به‌کارگرفتن وسایل و روشهای جدید، کنار گذاشته نشدند. وانگهی برخورد ارتشها یا روابط مسالمت‌آمیز بازرگانی، دستاوردهایی را که در انحصار مشرق‌زمین بودند، منتقل می‌کردند.

انتقال تکنیکها از چنین راههایی، بسیار کند انجام گرفت؛ اما برای اینکه ارزیابی معقولی از این مدت در رابطه با سرعت تحول در بشریت داشته باشیم باید آن را با مدت جریانهای انتقالی دیگر در حوالی دورانهای نزدیک به تاریخ یا دوران مقدماتی تاریخ، مثلاً با دورانهای آتش، سلاح پرتابی، کشت گیاهان خوردنی مقایسه کنیم. ما نمی‌دانیم که این فرایندها تا چه اندازه با یکدیگر تفاوت دارند و آیا در طلیعهٔ تمدنهای تکنیکی، کانونهای پخش، محدود یا زیاد بودند؛ اما می‌دانیم که در نیمهٔ دوم هزارهٔ نخست پس از میلاد، نوعی دستاورد مشترک تکنیکها، از طریق سرزمینهای واقع بین خاور دور و باختر انتشار یافته است بدون اینکه در این مبادلات تکنیکی، امتیازی برای یکطرف باشد و تصور وجود نوعی خلاء فرهنگی بین این دو کانون بزرگ تمدن را القا کند.

تشکیل نوعی مجموعهٔ تکنیک سنتی: در آغاز هزارهٔ دوم پس از میلاد، پیشگامی در آفریدن تکنیک در مغرب‌زمین بود. در این زمان دیگر از مجموعهٔ تکنیکی کهنه، که هزارهٔ پیشین تقریباً با آن

زیسته بود دور شده‌ایم. مسائل مربوط به تسخیر انرژی، استخراج فلزات، به‌کارگیری الیاف نساجی، حمل‌ونقل و ساختمان، ابعاد دیگری یافتند. مجموعهٔ تازه‌ای از تکنیکها طی این سده‌ها پدید آمد که بر فعالیتی تکیه داشت که گرچه ذاتاً تازه نبود اما تا آن زمان انسان نیازی به بهره‌گیری خاصی از آنها احساس نکرده بود و آن سازماندهی، قطعات چوبی و فلزی برای اختراع دستگاههای مکانیکی است.

مثالی که بیش از همه دراین‌باره آورده می‌شود ساختن ساعت دیواری است که در اواخر سدهٔ سیزدهم انجام گرفت. اما این تکنیک را باید نماد دورانی دانست که طی آن انسان برای پشت سرگذاشتن بهره‌گیری از نیروهای عضلانی می‌کوشید تا مورد خاصی از یک الهام شخصی. تکنیک این نیمهٔ نخست هزارهٔ دوم، مکانیکی بود. این دوران رواج آسیابهای آبی، پخش آسیاهای بادی، پیدایش غلتکها، چکشهای آهنگری، چرخهای خراطی، وسایل آب‌بندی، پرسهای چاپ و به‌کارگیری سلاحهای آتشین بود. مجموعهٔ تازه‌ای از تکنیکها تشکیل شد که در آن رشته‌هایی از خلاقیت خودنمایی می‌کردند. این مجموعه با آهنگ منظمی رشد یافت تا هر حادثه‌ای آن را مختل نسازد و شکستی در آن راه نیابد. عناصر گوناگون تحول آن به یکدیگر مرتبط بودند همان‌طورکه مجموعه‌های تکنیکی که بعدها صورت پذیرفتند چنین بودند. اما فشارهایی در درون این مجموعه‌ها، آنها را به غلیان می‌آورد، که بدون منجر شدن به بحرانی، یکایک نابود می‌شدند و چنانچه برخی از آنها خودی نشان می‌دادند، پیش از آنکه ساختار کلی مجموعه تحت تأثیر قرار گیرد، تعادل از نو برقرار می‌شد.

درواقع هریک از وسایل جدیدی که به‌کار گرفته شد بزودی حدود تأثیردهی آنها مشخص شد. انرژی در دسترس، همواره تابع وضع جغرافیایی و بومی منطقه بود و دستگاههایی که استعداد پذیرش حرکت را داشتند محدودهٔ کارشان متناسب با مقاومت مواد سازای آنها و نیز قدرت انتقال مکانیسمها بود. با اینکه نیازهای تازه به کالاهای آهنی با تعویض کوره‌های کوتاه به بلند، برآورده شدند برای تصفیه چدن هم، باز همین کوره‌های کوتاه مورد استفاده قرار گرفتند. از سوی دیگر، باید گفت که هنوز به تمدن فلز، یا اگر دقیقتر گفته شود آهن، دست نیافته بودند. فلزی که بیش از بقیه در دسترس بود، مس و آلیاژهای آن بود که اهمیت آنها از آهن کمتر نبود. تمدن آن روزگار بر پایهٔ چوب، سنگ و خاک رس برپا شده بود. چوب درواقع وسیله‌ای همگانی برای گرمای خانه‌ها و صنایع و نیز ساختن منازل و دستگاهها بود. در آن زمان یکی از حرفه‌های صنعتی بسیار مهم، ساختن آسیاب، در انحصار کسانی بود که در مکانیک چوب تخصص داشتند. فعالیت متالورژیست‌ها هم بستگی

به کاربرد چوب داشت.

استفاده از مواد طبیعی و پراکندگی زیاد کار استخراج و تبدیل را، می‌توان از عوامل درونی تنظیم‌کنندهٔ جریان تحول مجموعهٔ تکنیکی این سده‌ها به شمار آورد. نوآوری‌ها، بسیار کند انتشار می‌یافتند و نیاز زمانه اقتضای سرعت بیشتری را نداشت. اینها، سنتهای جدید تولید بودند که مستقر می‌شدند و در اواخر سدهٔ شانزدهم به سقفی دست یافتند.

سدهٔ هفدهم، دوران تازه‌ای از تعادل با مجموعه‌ای تکنیکی از نوع سنتی است. گرچه در این دوره، فشارهای تحول در برخی از رشته‌ها خود را نشان دادند اما از نوعی نبودند که در آن زمان بنیادهای تعادل جدید را به‌خطر اندازند. کشتیرانی همزمان به پیشرفتهای اخترشناسی و زمانسنجی چشم داشت. دهانهٔ تنگ بندر که برای کشتیرانی، مسأله معروف اندازه‌گیری طولها در دریا را پیش آورده بود، مانع آن نشد که «راه هند» تازه‌ای باز شود، و اطلاعات جغرافیایی گسترش یابد؛ معلومات اقتصادی بازرگانی جهانی تغییر کند؛ و در اروپا انتقال جریانهای صنعتی از حوضهٔ مدیترانه به سواحل اقیانوس اطلس صورت پذیرد. جالب توجه است که این جهش پراهمیت هم در زمینهٔ راههای بازرگانی و هم در قسمت مبادلات پولی، تنها بازتابهای کوچکی بر تکنیکهای تولید داشت. این مجموعهٔ سنتی برای پاسخگویی به نیازهای این مبادلات جدید و نیز نیازهای روزمرهٔ مردم کافی بود. نارسایی آن بعدها خود را نشان داد. در آن زمان گرچه ثبات مطلق وجود نداشت و این مجموعهٔ تکنیکی همواره در تحول بود ـ گرچه این تحول بدشواری دیده می‌شد ـ هیچ نوآوری بنیانی تعادل مستقر را برهم نزد. سازگاری وجود داشت نه تغییر شکل.

جهش بسوی مجموعه‌ای «کلاسیک»: نوآوری در همهٔ زمانها بسکوت برگزار می‌شود تا اینکه محرکی آن را جریان دهد. چنین محرکی معمولاً یک حادثهٔ ساده نیست، بلکه به‌طور مشهود، بیرون از مجموعهٔ تکنیکهای موجود است. با این‌حال، این محرک زمانی می‌تواند یک فرایند نوآور برانگیزد که وسایل فنی لازم در دسترس باشد. همان‌طور که در مجلد پیشین گفته‌ایم، در تاریخ صنعت، مسائل مربوط به قدمت یا پیشگامی، مشکلات کاذبی هستند. نوآوری زمانی بروز می‌کند که سطح خلاقیت تکنیکی به آن امکان دهد، در این مورد، هرگز جهشی در مجهولات صورت نمی‌گیرد. سدهای اطراف مجموعهٔ تکنیکی، استوار می‌باشند و تنها عواملی که میان رشته‌های گوناگون تولید و حتی درون یکی از آنها اثر می‌گذارد بازی تنشهای درونی است که می‌تواند تعادل را بشکنند و آن را درهم ریزد. این همان چیزی است که در میانهٔ سده هجدهم رخ نمود. همانطورکه دیدیم، این حادثه در آغاز پدیده‌ای جغرافیایی بود و در انگلستان اتفاق افتاد. محرک نخستین آن کاربرد فراوان

پنبه در نساجی بود. بعضی از پایه‌های آن مجموعهٔ سنتی که تکنیکهای تولید و مبادله از دو تا سه سده پیش از آن تغذیه می‌کردند، در اثر هجوم یک عامل تازهٔ اقتصادی، به‌لرزش درآمدند، بی‌شبهه برای نخستین بار بود که نیازهای بازار، رأساً و با قدرت، انگیزهٔ جهشهای تکنیکی بودند.

نخست برای ریسندگی و سپس بافندگی می‌بایست از مکانیک چوب به مکانیک آهن روی آورد. می‌توان پرسید که در زمانی‌که هنوز به مرحلهٔ تحولی ویژهٔ تراز کلی خلاقیت فنی دست نیافته بودند چگونه این جهش انجام گرفت. مثلاً تولید چدن افزایش نیافته بود و تصفیهٔ آن هم سریع نبود. در این نیمهٔ دوم و شگفت‌انگیز سدهٔ هجدهم، تنها در بریتانیای کبیر با شبکهٔ کاملی از کارهای اقتصادی و اجتماعی روبه‌رو می‌شویم که با شبکهٔ دیگری از فشارهای درونی در رشته‌های فنی خاص، قرین شده است و در جهات گوناگونی درون این مجموعهٔ تکنیکی تأثیر می‌گذارند. ساختارهای نوین به نسبتی که موانع پیاپی تحول برطرف می‌شوند، بسرعت شکل می‌گیرند و بدون اینکه بتوان از برتری یکی از عوامل نسبت به بقیه سخن گفت، انگیزه یا پشتوانهٔ این جنبش کلی هستند.

در سدهٔ بعد، که دورانهای کشمکشهای نظامی به پایان رسیده بودند، انتشار تکنیکهای بریتانیا، در قارهٔ اروپا و آمریکای شمالی، از راههای گوناگون اما به‌شکل برگشت‌ناپذیری، به کمال رسید. مجموعهٔ تکنیکی تازه‌ای بسرعت و بدون برکنار کردن همهٔ عناصر مجموعهٔ سنتی، شکل گرفت. اما بعضی از عناصر سنتی که خیلی هم محدود نبودند، تا زمانهای نزدیک به ما، کار خود را، حتی گاهی بدون رقیب ادامه دادند. مجموعهٔ جدید که بر صنایع متکی، یا لااقل بر وسایل جدید تولید مستقر شده بود نیز می‌بایست به نوبهٔ خود بحالتی از تعادل درونی و فراغت از تحول دست یابد. رکود نسبی این مجموعهٔ سنتی که، همان‌طورکه گفتیم، بازمانده‌های متعدد آن دلیل نوعی کارایی بسیار مؤثر آن است می‌تواند این اندیشه را القا کند که پس از آن دورهٔ سرشار از خلاقیت که این مجموعه داشته است اینک به نقطهٔ استراحت خود رسیده است. تکنیکهای قدیم مایه‌های نیرومند تکنیکهای جدید بوده‌اند. پس از پایان این جهش نیز، مجموعهٔ جدید میل دارد تا بر ساختارهای ثابتی استقرار یابد. در اواخر سدهٔ گذشته گرایشی وجود داشت که متضمن این نظر بود که این ساختارها پایه و مایه نوعی کلاسیسیسم هستند که بدون شک تا مدتها خواهد ماند.

دینامیک تازهٔ تحول: این نمود فریبنده هنوز وجود دارد. مجموعهٔ کلاسیک تکنیکهای سدهٔ نوزدهم کاملاً مرتبط و متناسب با یکدیگر بود اما نطفه‌هایی در آن وجود داشت که مانند موریانه نظم زیبای آن را درهم شکستند. این پدیده، فوراً مشاهده‌پذیر نبود، مثلاً، گرچه جریان برق یک وسیلهٔ

بدون پیشینهٔ انتقال انرژی است، بخار و آب تنها منبع آن هستند. وانگهی برای اینکه رواج برق صنعتی به آنجا برسد که تأثیر فنی و اقتصادی آن قطعی شود لااقل می‌بایست نیم سده بگذرد، در دیگر رشته‌های اساسی تحقیقات فنی و علمی، در آخرین مجموعهٔ کلاسیک، در فاصلهٔ زمانی دو جنگ جهانی، شکافهایی به‌وجود آمدند و بتدریج گشادتر شدند. محققاً هسته‌های مستحکمی که در جریان مراحل نخستین صنعتی شدن شکوفا شده بودند پایدار مانده‌اند. متالورژی نمونه‌ای از آنهاست که فعالیت آن بر بهره‌گیری از روشهای کلاسیک نیمهٔ دوم سدهٔ گذشته تا اواسط سدهٔ حاضر ادامه یافته است، روشهایی که در زمان خود از اوج سطح کلی خلاقیت برخوردار شده‌اند. این حکم دربارهٔ باربری با راه‌آهن و کشتی نیز صادق بود تا اینکه موتورهای درونسوز بنوبهٔ خود در همان زمان با رواج خود، اطلاعات مربوط به بهره‌گیری از آنها را دگرگون کردند.

مجموعهٔ سنتی و ساختارهای مجموعهٔ کلاسیک، مانند مجموعه‌های پیش از خود، متحمل فرسایش ثابتی شدند ـ فرسایشی که از همان آغاز تشکیل آنها به‌وجود آمد. این فرسایش چون در آغاز کند بود، این گمان را پدید آورد که ساختارهای مجموعه در حالت تعادل هستند. اما با آغاز نخستین دهه‌های سدهٔ حاضر، این فرسایش شتاب گرفت و پس از جنگ جهانی دوم، ویرانگر شد. هنوز بسیار زود است که تاریخ بتواند مجموعهٔ تکنیکی نوینی را که تغذیه‌کننده تمدن صنعتی دوران ما است شناسایی کند. با بررسی مراحل پیشین باید گفت که تاریخ منتظر آن نخواهد شد تا این مجموعه نیز بنوبهٔ خود، پیش از آنکه همهٔ منابع تحول آن به پایان برسد، بر عناصر ثابتی تکیه زند.

درواقع، آنچه که ما اکنون شاهد گسترش آن هستیم، مجموعهٔ متحولی است. ما می‌دانیم که این عناصر پایگاههای آغاز تحول بوده‌اند و ما می‌توانیم خطوط قوا را که درون آن رسم شده‌اند بخوانیم. ما بتازگی توجه یافته‌ایم که این جنبش، قانونمند است. حتی اگر هم همهٔ کلیدهای این سیستم هنوز در دست ما نباشد ما توانسته‌ایم در پیشگفتار مجلد پیشین نشان دهیم که جریانهای منطقی تشخیص‌پذیر هستند و دینامیک خاص تحول تکنیکها را می‌توان تحلیل کرد. زمانی‌که دورانهایی را بررسی می‌کنند که این پدیده در آنها بسیار کند بوده است، این کار با دشواریهای بزرگی برخوردار نخواهد کرد؛ اما حال که تأثیرات متقابل، شبکهٔ چنان فشرده‌ای را تشکیل داده‌اند که هیچ‌گونه اثر نوآوری، مشهود نیست، این کار دشوار می‌نماید. دریچهٔ تحلیل تاریخی مستقیماً بر روی آینده باز نمی‌شود، اما لااقل اجازه می‌دهد تا بدون دلواپسی چشم به راه آن باشیم.

موریس دوما

بخش اول

استخراج فلزات

در اواسط سدهٔ نوزدهم، استخراج فلزات از کانیهای آن، صنعت اصلی دوران بود و تهیهٔ فراورده‌های کالایی فلزی تا دوران کنونی، لااقل سه مرحلهٔ تحولی بنیادین را پشت سر گذارده است. مرحلهٔ نخست، صرفاً مربوط به سیدرورژی (≈ آهنگری) است. پیدایش سه روش تبدیل مستقیم چدن به فولاد در مدت زمانی از ۱۸۵۶ تا ۱۸۷۸ سبب شد که فولادسازی در ردهٔ نخست صنایع جهانی جای گیرد و نیروی پیش‌برندهٔ بقیه صنایع به مدت ۲۵ سال باشد. سپس، این صنعت مقام خود را از دست نداد، اما صنایع دیگر در این جنبش عمومی تکنیک، که در اواخر سدهٔ نوزدهم در مرحلهٔ تازه‌ای از تاریخ خود گام گذاشته بودند، مقامی برابر با سیدرورژی یافتند؛ در این مرحلهٔ جدید، مجموعهٔ کلاسیک، که در نیمهٔ نخست سدهٔ نوزدهم سازمانیافته شده بود ظاهر تثبیت شده و ساماندار خود را، که زمانی همچون مشخصه اساسی آن تلقی می‌شد از دست داد. نخست شیمی و بعد، برق فشار قوی از عوامل بسیار نیرومند تحول شدند ـ تحولی که همهٔ رشته‌های صنعتی را تقریباً در نیم‌سده، به کمک عوامل دیگری که مورد تحلیل قرار گرفته‌اند، دربرگرفت.

رشتهٔ برق در دههٔ ۱۸۸۰، جهشی در بخش استخراج فلزات ایجاد کرد که بازتاب آن نخست بر فلزات آهنی بود و در مرحلهٔ اول سبب شد که آلومینیم در ردیف فراورده‌های متالورژیکی با کاربرد تقریباً عمومی به‌شمار آید. فلزات ناآهنی دیگر، بویژه مس، یا با روش الکترولیز، یا درکوره‌های برقی تصفیه و تهیه می‌شدند. خود فولاد به‌شکل ردیفی از آلیاژها، که پیوسته بر تعداد آنها افزوده می‌شد، تولید گردید و توانست در ساخت قطعات گوناگونی وارد شود، و این کاری بود که تا آن زمان محال می‌نمود.

مرحلهٔ سوم، محدوده‌های زمانی و فنونی را شامل می‌شود که شناخت دقیقی از آنها در دست نیست. این مرحله از سالهای ۱۹۳۰ آغاز می‌شود و با استخراج «خرده‌فلزات» که به شکل خالص، یا در آلیاژهایی برای پاسخگویی به نیازهای جدید به‌کار گرفته شدند، مشخص می‌شود. این مرحله سی سال بعد ازنو برای به‌کارگیری روشهای تصفیهٔ چدن دنبال شد ـ روشهایی که از روشهای کلاسیک سدهٔ پیش از آن، بریده بودند و در طی زمان، در روزگار ما، به‌طور جزئی یا کلی جانشین آنها شده‌اند.

۱

سیدروژی کلاسیک

قبلاً (در مجلد سوم، صفحه ۷۳۸) دیدیم که چگونه تعادل تکنیکهای سیدروژی مربوط به پایان سدهٔ هفدهم و آغاز سدهٔ هجدهم، با نوآوریهای آزمایشگاهی در مورد تعویض زغال چوب به کک، برای تهیهٔ چدن، به‌هم ریخته شد. نیم سدهٔ تمام برای متالورژیست‌های بریتانیایی و بویژه برای نسلهای پیاپی خانوادهٔ داربی[1] لازم بود تا بتوانند این تکنیک را عملی سازند. کوره‌های بلند کک‌سوز با کندی تمام در قارهٔ اروپا رواج یافت، و در همان حال شیوهٔ تهیهٔ آهن ورزیده از چدن عملی شد. این شیوه همواره در تهیهٔ فراورده‌های آهنی، تنگناهایی تولید می‌کرد. چدن، که بوسیلهٔ صنایع گوناگون مصرفی به مقدار زیاد به‌کار گرفته می‌شد نمی‌توانست همهٔ نیازهای دورانی را پاسخگو باشد که در آن کاربرد آهن در رشته‌های گوناگون ماشین‌سازی گسترش یافته بود.

تنگناها: ورزیده‌سازی، راه‌حل تازه‌ای بود که با ارتقای کاربرد نوردهای مکانیکی، رفته‌رفته پتک‌کاری سنتی را به تأسیسات صنعتی بزرگی تغییر شکل داد. با وجود کوششهایی که به مدت چندین دهه انجام گرفت، عملیات تصفیه در همان محدودهٔ پیشه‌وری باقی ماند. کوره‌های بازتابی که تصفیه در آنها انجام می‌گرفت هرگز دارای مکانیزاسیون رضایت بخشی نبودند. گنجایش آنها دربرابر قدرت

1. Darby

تولید روزافزون کوره‌های بلند، که چدن تولید می‌کردند و نیز دربرابر نیازهای مصرف کنندگان، محدود باقی مانده بود. وانگهی، مستلزم به‌کارگیری تعدادی کارگر برای انجام دادن کارهای سخت بود. این وضع نمی‌توانست فراتر از مقتضیات کار کوره‌ها افزایش یابد.

محقق است که ورزیده کردن سبب شد که مقدار تولید، رفته‌رفته به نسبتهایی افزایش یابد که با روشهای سنتی کوره‌های کوتاه قابل مقایسه نبود. مثلاً، در فرانسه، تولید آهن از ۲۴۶ هزار تن سال ۱۸۵۰ به ۷۳۴ هزار تن در ۱۸۶۲ رسید، درحالی‌که تولید چدن، تنها دو برابر شده بود: از ۴۰۵ هزار به ۱۰۹۱ هزار تن. گرچه تولید فولاد در همین مدت، چهار برابر شد (از ۱۰/۹ هزار، به۴۷/۱ هزار تن رسید)، هنوز نسبتاً کم بود.

در این دوران، دهه‌های نخست نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم، نیاز به فولاد بیش از پیش احساس می‌شد. تأسیسات فلزی، چه پل و چه ساختمان، دستگاههای آهنی و وسایل جنگی، فشار روزافزونی بر بازار فراورده‌های آهنی وارد می‌آوردند. در سال ۱۸۴۰ شرکتهای راه‌آهن فرانسه، برای توسعهٔ تأسیسات کوره‌های ورزیده‌سازی آهن، و نوردها جهت ساخت ریلهای آهنی، اعتباراتی در کارخانه‌های سیدرورژی باز کردند. اما گذر از آهن به فولاد، گرفتار تنگناهایی بسیار زیادتر از تبدیل چدن به فولاد بود.

تحول در فهرست‌نویسی مواد: در این دوران می‌توانستند فراورده‌های گوناگون آهنی راکه برای دادوستد تهیه شده بودند برپایهٔ درصد کربن آنها از یکدیگر تشخیص دهند. فرهنگ *Le dictionnaire des arts et manufacture* چاپ سال ۱۸۴۵ آهن معمولی را فراورده‌ای می‌داند که حداکثر ۰/۵٪ کربن دارد و فولاد ۱ تا ۲٪. درمورد چدن، آن را آهنی می‌داند که ۲ تا ۵٪ کربن دارد. به‌طور سنتی میان چدن ریخته‌گری و چدن خاکستری، که از مدتها پیش تا پیدایش روش ورزیده‌سازی به‌کار گرفته می‌شد و چدن پالشی، چدن سفید فرق گذاشته می‌شد. تفاوتهای خواص چدنهای گوناگون و روشهای تبدیل گونه‌ای از چدن به‌گونهٔ دیگر آن بر پایهٔ نحوهٔ سرد کردن آنها را بخوبی می‌دانستند.

فهرست اصطلاحات سیدرورژی، نظیر فهرست اصطلاحات متالورژی و نیز رشته‌های دیگر، بسیار فراوان بود. این اصطلاحات، نه‌تنها گروههای مختلف فراورده‌های آهنی را معنی می‌کردند، بلکه ناظر به طرز تهیهٔ هر فراورده، خواصی که از آنها مشتق می‌شوند، ظاهر فیزیکی، قابلیت مفتول شدن آنها، استحکام و غیره، و نیز کاربردی که برای آنها منظور شده است، بودند. در کل، تفاوت میان هر یک از این سه گروه بزرگ، چدن، آهن، فولاد تا روزگار ما تغییری نیافته است، گرچه تعریف

آنها، بسرعت به‌طور رسمی تغییر کرده است.

در سال ۱۸۷۶، زمانی‌که روشهای بسمر و مارتن بسرعت درحال صنعتی شدن بودند، یک کمیسیون بین‌المللی، که به‌مناسبت نمایشگاه فیلادلفی تشکیل شده بود، در این مورد تصمیمات کلی زیرا را اتخاذ کرد. از این پس هر ترکیب آهنی که با فلز دیگری آلیاژی نشده باشد، با هر روشی که به‌دست آمده باشد، آهن جوشکاری شونده نامیده شد نه آهن نرم. چنان چه این ترکیب که همیشه بدون ذوب تهیه می‌شد در اثر آبدادن سخت شده باشد با فولاد جوشکاری شونده سروکار داشتند، اصطلاحی که جانشین اصطلاحات دیگر: فولاد طبیعی، فولاد آهنگری، فولاد ورزیده شده بود. فراورده‌هایی که با ذوب به‌دست آمده بودند، آهن فوبی، و اگر آبدیده شده بودند، فولاد ذوبی نامیده می‌شدند. چدن، آهنی بود که آسان ذوب می‌شد و مفتولپذیر نبود؛ چدن خاکستری، گرافیتهای ترکیب ناشده و آزاد داشت و چدن سفید، فاقد این نوع گرافیتها بود. این تصمیمات بخوبی بازتاب این واقعیت بودند که فراوردهٔ به‌دست آمده نه‌تنها تابعی از وسایل، اجاق کوتاه، کورهٔ ورزیده‌سازی، کورهٔ غال‌گذاری، کنورتیسور (تبدیلگر)، کورهٔ زیمنس می‌باشد بلکه بویژه تابع نوع ادارهٔ عملیات در هر مورد است.

امروز تفاوت میان آهن و فولاد، بویژه در قسمت آلیاژهای گوناگونی که تهیه می‌شوند، کمتر مشهود است. در تعریف دقیق این فراورده‌ها، دیگر مثل گذشته مقدار کربن را در نظر نمی‌گیرند، بلکه وجود یا فقدان مخلوطهای اوتکتیکی هر ترکیب معین به‌حساب می‌آید. اکنون، واژهٔ آهن، بسیار بندرت به‌کار گرفته می‌شود؛ آهن بسیار خالص است و کاربردهای بسیار ویژه دارد. تا۱/۲ یا۱/۳٪ کربن را فولاد می‌نامند، فولاد از نوع بسیار نرم که ترکیب سمانتیت در آن وجود ندارد تا فولادهای بسیار سخت. تا ۲٪ کربن را فولادهای «وحشی» یا ناآرام می‌گویند که کاربرد کم دارند. چنانچه میزان کربن بالاتر از مقادیر بالا باشد، چدن است که گرافیت در آن وجود دارد و ساختار آن اوتکتیکی است. اصطلاح آهن در آمارهای جهانی یا ملی تولید صنعتی در روزگار ما حذف شده است و انواع فولادها بیش از پیش بر اساس منشأ آنها (طرز تولید)، عناصر افزوده شدهٔ به آنها، نوع فراورده‌های دادوستدی و اینکه برای چه منظوری ساخته شده‌اند، مشخص می‌شوند.

مسألهٔ فولاد: فولاد در سالهای ۱۸۵۰، فراورده‌ای نسبتاً کمیاب و گران بود. به مقدار بسیار کم و از خود کانیها در کوره‌های کوتاه، و به‌طور عمومیتر از آهن با روشهای سنتی سمانتاسیون، یا با ذوب آهن در بوته با مخلوط کردن آهن با چدن به‌دست می‌آمد. گاهی هم برای تهیهٔ آن از شیوهٔ ورزیده‌سازی، که دشواریهای فراوانی داشت، استفاده می‌شد.

کوره‌های سمانتاسیون انگلیس در اروپا به‌طور پراکنده، فعال بودند، اما تنها سطح قطعات آهنی دارای کربن می‌شدند. لازم بود که پس از سمانتاسیون از روش عمل آوردن و نیز آهنکوبی استفاده کرد تا جرم همگونتری به‌دست آید. این شیوه، بطئی و پردردسر بود و فولادی که تهیه می‌شد کیفیتی نسبتاً متوسط و متغیر داشت و تولید زیاد با این روش ممکن نبود. ذوب در بوته، روشی تقریباً مشابه هانتسمن[1] در یک سدهٔ پیش، در کارگاههای بزرگ، برای افزایش سرعت اجرا، عقلایی (راسیونالیزه) شد.

بویژه آقای کروپ در سالهای ۱۸۴۵ـ۱۸۵۰ قواعد بسیار اکیدی برای تولید فولاد در بوته، تنظیم کرد که باید کارگران متعدد و با انضباط آنها را رعایت کنند. این قواعد که ناظر بر مسألهٔ مخلوط مورد ذوب و هدایت عمل ذوب بودند به وی امکان می‌داد تا چندتن ذوب مناسب ریخته‌گری به‌دست آورد. این فولاد با کیفیت عالی و ثبوت ترکیب شهرت بسیار یافت، اما چون هزینهٔ تولید آن بسیار گزاف بود، تنها می‌توانست در ساخت اسلحه به‌کار گرفته شود که بهای فروش آن محدودیت نمی‌شناخت. شهرت فولاد بوته‌ای کروپ چنان بالا گرفت که قبول آن از سوی کارخانه‌های اسن با روش بسمر، حدود سال ۱۸۶۵، تا مدتی که توانستند مخفی نگاهداشته شد. با این حال، این روش بوته‌ای مدت زیادی مورد حمایت قرار نگرفت. آقای ل. گرونر[2] در سال ۱۸۶۷ نوشته است که: «آقای کروپ (در نمایشگاه سال ۱۸۶۷ پاریس) تحت عنوان فولاد بسمر، چیزی نشان نداده است. یادداشت چاپی ثابت می‌کند که همهٔ فراورده‌های وی در بوته ذوب شده‌اند. معلوم است که آقای کروپ، با وجود رمزورازهایی که وی را دربرگرفته‌اند، در اسن دستگاههای متعددی از بسمر در اختیار دارد ... قطعی می‌نماید که این فولادهای عالی، در بوته ساخته شده‌اند و فولاد بسمر هم غالباً از نو در بوته ذوب می‌شود.»

در شروع دههٔ ۱۸۵۰ نیاز به مقادیر زیاد فولاد به‌حدی رسید که شمار زیادی از آزمایشگران خود را وقف یافتن روشهای تازه‌ای برای تبدیل مستقیم چدن به فولاد کردند. مسأله عبارت بود از اجرای حذف جزئی کربید چدن بوسیلهٔ تصفیهٔ ناخالصیهای آن؛ باید گفت که روش افزایش کربن آهن به‌طریق سمانتاسیون، از نظر کیفیت و کمیت فلز تولید شده خود را نارسا نشان داده بود.

کارهای اولیه در تبدیل مستقیم: تردیدی نیست که نخستین کسی که روشی هم سریع و هم بسیار انعطاف‌پذیر پیشنهاد کرد، جز هنری بسمر از شفیلد، یعنی مخترع مستقلی که کارهایش تا سال ۱۸۵۵ رابطهٔ مستقیمی با این مسأله نداشت، نبود. اساس این روش بسیار ساده بود: سوزاندن مستقیم کربن چدن با دمیدن هوا در چدن مذاب. دمای بالای چدن مذاب برای اشتعال کربن کافی

1. Huntsmann 2. L. Gruner

است، و همین اشتعال نیز، دمای ذوب را بالاتر می‌برد و این وضع، ناخالصیها را می‌سوزاند و بخشی از آنها وارد سرباره می‌شوند.

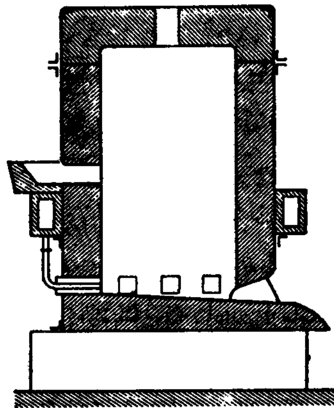
این اصل را آقای نازمیت یک دههٔ پیش از بسمر، بیان داشته بود. این متالورژیست انگلیسی پیشنهاد کرده بود که بخار آب در کورهٔ ورزیده‌کاری چدن دمیده شود. بخار آب که در گرمای کوره، تجزیه می‌شد، اکسیژن آن حذف کربن، و هیدروژن آن حذف گوگرد و فسفر آهن گداخته را تأمین می‌کرد. اما در عملیات ورزیده‌سازی، چدن به درجهٔ ذوب نمی‌رسد و حالت خمیری آن تأثیر فراورده‌های ناشی از تجزیهٔ آب را محدود می‌سازد و به‌طوری‌که معلوم است همزنی تنها با سیخ انجام می‌گرفت و در آن زمان مکانیزه نشده بود، بنابراین آزمایشهای نازمیت دنبال نشد.

آقای ویلیام کلی[1] متالورژکنتاکی حدود سال ۱۸۵۱ به حل مسأله نزدیکتر شد. وی هوای سرد را در چدن در حال ذوب در کورهٔ کوپل می‌دمید. کلی هم به افزودن منگنز به بار کوره، جهت حذف سیلیسیم، کربن و ناخالصیهای دیگر اندیشیده بود، اما بخوبی نمایان است که روش کلی هرگز مناسب تولید صنعتی نیست. آقای کلی در نوامبر ۱۸۵۷ روش خود را به‌ثبت رسانید، درحالی‌که روش بسمر در نوامبر ۱۸۵۶ در ممالک متحدهٔ امریکا به ثبت رسیده بود (نخستین ثبت این روش در انگلستان، ۱۷ اکتبر ۱۸۵۵ بود). بعدها، در ۱۸۶۱ که بسمر وارد امریکا شد، گفت‌وگویی برپا شد که در نتیجهٔ آن ادارهٔ ثبت اختراعات در امریکا، تقدم کلی را به‌رسمیت شناخت. این اعلام رأی، گرچه دشواریهایی در به‌کارگیری روش بسمر پدید آورد، برای اینکه روش کلی مورد استفاده قرار گیرد، کافی نبود.

کارهای بسمر بسیار دشوار بودند، مرحلهٔ نخست آن سالهای ۱۸۵۰ تا ۱۸۵۵ را فرا گرفت. نخستین به‌کارگیری این روش در سال ۱۸۵۶ بود که نتایج خوبی نداشت. آقای بسمر از کارهای کلی بی‌خبر بود، اما شکی نیست که از اندیشه‌های آقای نازمیت الهام گرفته بود. در الحاقیه‌ای که در سال ۱۸۵۶ به امتیازنامه سال ۱۸۵۵ وی تنظیم شد، این سطور را می‌خوانیم: «کوره‌های کوپلی که برای ذوب دوبارهٔ چدن خام در ریخته‌گریها یا برای کاربردهای دیگری به‌کار گرفته شده‌اند، برای پالش و تبدیل چدن خام از طریق تزریق هوا یا بخار آب، یا مخلوطی از هوا و بخار آب، در تودهٔ مذابی که در کوره‌های کوتاه پیش گفته شده، کلوخه می‌شوند، هم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.» بسمر کمی بعد متوجه شد که کاربرد جریان هوا، بسیار مؤثرتر از تزریق بخار آب است که تجزیهٔ آن مقداری گرما را جذب می‌کند.

وی نخست با یک بوتهٔ عمودی ثابت (شکل ۱) کار کرد، و بدین طریق توانست ادعا کند که

1. W. Kelly

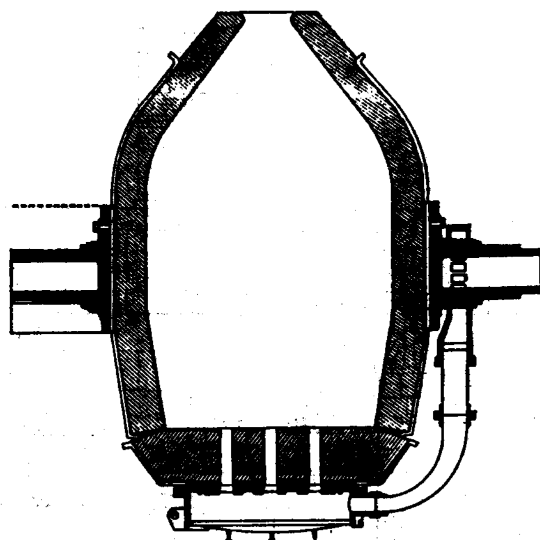


شکل ۱.نخستین بوتهٔ آزمایشی بسمر.
بوته ثابت است و بارزنی چدن مذاب از مجرای سمت چپ است. زنبورکهای بوته در کف آن قرار دارند و از سوراخ موجود در پایین سمت راست، بارریزی انجام می‌گیرد.

نوعی احتراق آهن، منگنز و کربن را با تحریک آزاد شدن مقداری گرما انجام داده است و این گرما سبب ادامه یافتن احتراق و حفظ فلز به حالت مذاب می‌شود. سیلیسیم و ناخالصیهای دیگر به‌شکل سیلیکات حذف می‌شوند. این عملیات بسرعت، و در چندین تن از مواد در یک زمان می‌توانند انجام گیرند.

بسمر در بخش دوم کارهای خود به دیگ فلزی یا کنورتیسور (تبدیلگر) اندیشید که باید موفقیت روش وی را تأمین و نام او را جاودانه کند. پوشش بزرگی از ورق آهن که آستری از مادهٔ نسوز از جنس ماسه‌سنگ، شن و خاک‌رس داشت این کنورتیسور را تشکیل می‌داد (شکل ۲).

هواکشهایی در کف آن ایجاد شده بود تا هوا از راه آنها به درون کنورتیسور دمیده شود. بسمر، نخست زنبورکهای جانبی را آزمایش کرد؛ اما باد، همهٔ جرم مذاب را به هم نمی‌زد. این دستگاه می‌توانست روی دو پاشنه که در مقابل یکدیگر و درنیمهٔ ارتفاع دستگاه کارگذاشته شده بودند بگردد و، با این ترتیب، حالتهای مختلفی به آن داده می‌شود (شکل ۳)؛در حالت افقی دهانهٔ آن به طرف دهانهٔ خروجی کورهٔ ذوبی که بار چدن از طریق آن وارد می‌شد قرار می‌گرفت و در حالت عمودی، هوا در آن دمیده می‌شد و، در نتیجه، شعله‌های بزرگی از کنورتیسور به بالا برمی‌خاست. سپس آن را در بالای یک بارریز می‌گردانیدند تا نخست سرباره دور ریخته شود و سپس فولاد مذاب در



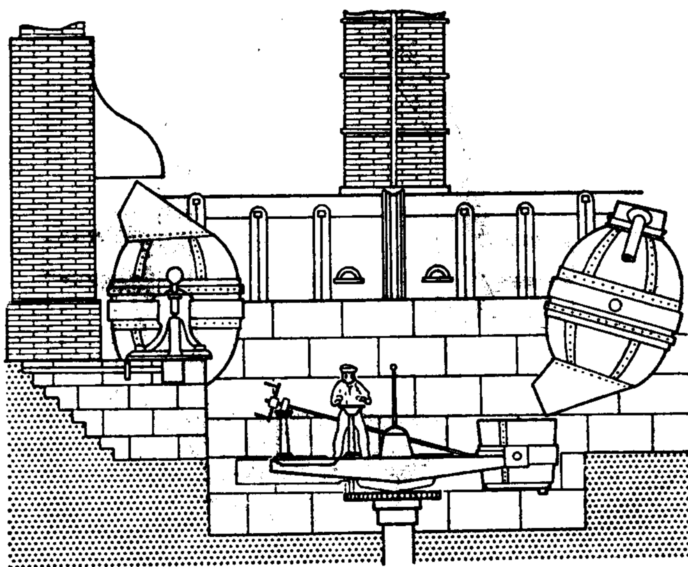
شکل ۲.مقطع عمودی کنورتیسور بسمر.
بارزنی از بالا صورت می‌گیرد (رجوع شود به‌شکل ۳)، هوا از پاشنهٔ سمت راست وارد می‌شود.

بارریز جمع‌آوری شود. محتویات بارریز را سپس در قالبهای فلزی می‌ریزند و فولاد در آنها خنک می‌شود. در آن زمان نوعی مکانیزاسیون در این عملیات راه یافت و کار دشوار و پرزحمت کارگران، حذف شد.

اصلاحات در روش بسمر: نخستین بار فولاد بسمر در ۱۸۵۶ تهیه شد، فولادی شکننده و دارای مُکهای فراوان. اما روشن بود که این روش امکان تهیهٔ فولاد فراوان ـ حدود ده تن ـ را در حدود ۱۵ دقیقه می‌دهد ـ چیزی که قبلاً کسی را جرأت مطرح کردن آن نبود. می‌بایست کیفیت آن بهتر شود و این اصلاحات پر مرارت را متالورژهای دیگری، جز بسمر انجام دادند. آقای رابرت فوستر ماشت[1] نخست و پس از وی افراد دیگری از خاندان ماشت بودند که با ابتکار در کاربرد مواد الحاقی در تاریخ سیدرورژی ممتاز شدند. در میانهٔ عملیات، کنورتیسور را از نو خم می‌کردند و با بیل، مقداری اشپیگل[2] که چدن منگنزدار است در تودهٔ مذاب می‌ریختند و در نتیجهٔ این کار، در مدت مرحلهٔ

1. R. Foster Mushet

۲. Spiegel: آینه، چدن آینه‌ای ـم.



شکل ۳.تأسیسات کورهٔ بسمر، حدود سالهای ۱۸۸۰ـ۱۸۹۰.
در کف کوره دو دهانهٔ دو کوره دیده می‌شوند که در پایین آنها دهانه‌های انبیقها می‌توانند نوسان کنند. در سمت چپ، وضع یک انبیق به‌هنگام دمیدن هوا نشان داده شده است؛ و در سمت راست وضع نوسان کنورتیسور در بالای بارریز، مشخص شده است. فولاد درون بارریز از راه سوراخی که در سمت راست آن نمایان است، به درون قالب فلزی ریخته می‌شود. سکوی نوساندار امکان می‌دهد که قالبهای فلزی متعددی پیاپی به‌کار گرفته شوند و دو انبیق متناوباً بار خود را خالی کنند.

دوم عملیات، آهن از نو دارای کربن می‌شد و گازهای موجود در تودهٔ مذاب از بین می‌رفتند.

آخرین اصلاح در این روش در ۱۸۵۸ بوسیلهٔ آقای یورون‌فردریک یورانسن[1] متالورژ سوئدی انجام گرفت که زمان راه‌اندازی و توقف عملیات را از روی نوع شعله‌هایی که به ارتفاع ده‌متر روی کنورتیسور بالا می‌رفتند، تعیین کرد. تغییر رنگ و شدت شعله، زمانی را که درصد کربن مخلوط با مقدار فولاد مورد نظر مطابق است، تعیین می‌کند. مدتها دقت نظر کارگران و سرکارگران، عامل اصلی در اجرای خوب این روش بود، گرچه اسپکتروسکوپ (طیف‌نما) برای بررسی عملیتر رنگهای گوناگون شعله‌ها تقریباً بلافاصله به‌کار گرفته شد.

1. Göron Fredrik Goransson

روش بسمر که نخست با بی‌اعتمادی پذیرفته شده بود در اوایل دهۀ ۱۸۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. این روش در انگلستان در آن زمان ۱۰۰۰ تن فولاد در هفته تولید می‌کرد. در نمایشگاه ۱۸۶۲ لندن و ۱۸۶۷ پاریس از آن به‌عنوان نوآوری بزرگ تجلیل شد. این روش اصولاً در فرانسه در چهار فولادسازی بزرگ انفی[1]، آسایی[2]، تر-نوار[3]، موترهاوزن[4] به‌کار گرفته شد و در آن از چدنهای خالصی که از کانیهای پیرنه، مکترل‌الحدید (در شهرستان عنابه در الجزیره) و ساردنی به‌دست می‌آمدند استفاده می‌شد. معلوم است که در آن زمان واردات کانیهای آهن و نیز حمل و نقل چدن به فرانسه، بنحوی وجود داشته است. در انگلستان کنورتیسورهایی با ظرفیت ده تن در شفیلد و دیگر جاها به‌کار می‌رفتند. اما آنها معمولاً برای تهیۀ آهن به‌اصطلاح «همگن» مورد استفاده قرار می‌گرفتند، نه برای فولاد. کشور سوئد که در واقع مبتکر به‌راه انداختن روش بسمر بود آن را به علتهای اقتصادی و مالی توسعه نداد. این کشور بیشتر به صادرکردن چدنهای خود، که مرغوبیت استثنایی داشت به انگلستان گرایش داشت زیرا کانیهای این کشور چدنهایی می‌دادند، که همان‌طورکه بعدها خواهیم دید، مناسب این روش فولادسازی نبودند. روش بسمر در قارۀ اروپا: اتریش، استیریا و کارینتیا، آلمان در ناحیۀ رور و سیلزی، بلژیک در ناحیۀ سرن و اوگره[5]، ایتالیا به‌کار گرفته شد. در ممالک متحدۀ امریکا استفاده از این روش، به‌علت دشواریهایی که قبلاً گفته شد، تنها در میشیگان و شمال نیویورک شروع شد زیرا چدنهایی که ازکانیهای دریاچه سوپریور به‌دست می‌آمدند با روش بسمر بسیار جور بودند.

چدنهای فسفری: عیب اصلی روش بسمر این بود که چدنهای خاصی از این راه به فولاد تبدیل می‌شدند و چدنهایی که، برحسب نوع کانهای خود، ترکیبات فسفری و گوگردی داشتند مناسب این روش نبودند. برای رفع این عیب اقدامات متعددی انجام گرفت، اما چون همۀ آنها ناظر به تصفیۀ بعدی فراوردۀ بسمر بودند متضمن از بین رفتن برتریهای سادگی و سرعت این روش بودند. از سوی دیگر، حذف سربارهای گوگردی و فسفری هیچ‌گاه رضایتبخش نبود و فولادی که به‌دست می‌آمد از نوع متوسط بود. گویا در طی دهۀ ۱۸۶۰، زمانی‌که این مشکل مطرح شده بود، افکار متوجه راه‌حلهایی شدند که از اصل مورد استفادۀ خود بسمر، سرچشمه می‌گرفت و آن: تزریق گازهای واکنش دهندۀ هیدروژن، بخار آب، گازکربنیک در تودۀ مذاب بود. این راه‌حل در دهۀ بعد موضوع یک اختراع این شیمیدان خود آموخته شد که برخلاف تواناییهای فوق‌العاده فولادسازیهای بزرگ آن زمان، وسایل زیادی در اختیار نداشت.

---

1. Imphy 2. Asailly 3. Terre-Noire 4. Mutterhausen 5. Ougre'e

کنورتیسور قلیایی: آقای سیدنی گیلکریست توماس کارمند رسمی یک دادگاه بود. وی گویا، بنا به کنجکاویهای شخصی و بر اثر توصیه یکی از عموزادگان خود، پرسی کارلایل گیلکریست که شیمیست کارخانه‌ای در جنوب ولز بود، به این شغل روی آورد. او در سال ۱۸۷۵ اصل یک راه‌حل را یافت که بعدها بسیار موفق شد ـ راه حلی کاملاً ساده‌تر از دیگر راه‌حلهایی، که متالورژیست‌های بسیار عالیمقام آن زمان پیشنهاد می‌کردند. این راه‌حل، چیزی جز تعویض آستر سیلیسی کنورتیسور بسمر که اسیدی بود با آستر قلیایی ساخته شده از دولومیت خمیری مخلوط با قطران نبود. چنین آستری این مزیت را داشت که سربارهٔ فسفری را ثابت نگاه می‌داشت و به گوگرد امکان می‌داد که در آخرین مرحلهٔ عملیات، بسوزد. توماس پیش از آنکه به تصحیح روش خود توفیق یابد، سالهای متعددی کار کرد. وی روش خود را که هنوز کامل نبود، در سال ۱۸۷۵ در بریتیش آیرن اند استیل انیستیتیوت[1] به نمایش گذارد، انستیتو آن را برای بررسی نپذیرفت. تنها در سال ۱۸۷۸ آقایان توماس و گیلکریست توانستند، پس از اجرای چند آزمایش با کنورتیسوری با ابعاد کوچک، اختراع خود را به‌ثبت برسانند. آنان بویژه متوجه شدند که علاوه بر کاربرد یک آستر قلیایی از کربنات دوگانهٔ آهک و منیزی، می‌بایست پیش از بارریزی، حدود ۱۰٪ وزن چدن، آهک به آن بیفزایند تا سرباره، قلیایی شود. به‌هنگام دمیدن هوا، سیلیسیم و منگنز، پیش از بقیه، اکسید می‌شوند، سپس کربن و بالاخره، تنها فسفر می‌سوزد. در جریان عملیات، با افزودن فرومنگنز، کربن‌دهی دوبارهٔ تودهٔ مذاب تأمین می‌شود ـ کاری که در بسمر اسیدی هم انجام می‌گرفت.

همین‌که حق امتیاز توماس ـ گیلکریست به‌ثبت رسید توجه فراوانی به آن شد. این روش در واقع امکان تصفیهٔ چدن فسفری را که از کانیهای بسیار فراوان بلژیک، بخشهای آلمانی و فرانسهٔ آن روزگار منطقه لورن و ناحیهٔ رور به‌دست می‌آمد، ممکن می‌ساخت. در سال ۱۸۸۴ آقای فنکنور[2] متالورژ، نمایهٔ واکنشهای اکسایشی را به‌ترتیبی که در بالا گفته شد به‌دست داد. در این زمان، نواحی مورد نظر، مجهز شدن با کنورتیسور توماس را، دیگر شروع کرده بودند.

برتری دیگر توماس بسیار سریع آشکار شد. سرباره‌های قلیایی خردشده، برای کشاورزی کود فسفری بسیار عالی خاک بودند.

کار کنورتیسورها، اسیدی یا قلیایی، با همگون کردن چدن آنها، بهتر شده بود. برای این کار، در فولادسازیها، مخلوط‌کنهایی گذاشته شد تا فراوردهٔ کوره‌های بلند، که ناهمگون هستند حدود بیست دقیقه در مقادیر ۱۰۰ تا ۱۵۰ تن در حالت مذاب باقی بمانند. در مدت این عملیات، بخشی از گوگرد به‌شکل سولفیدمنگنز حذف می‌شود.

1. British Iron & Steel Institute 2. Finkeneur

استفاده از روش توماس، همهٔ مراکز تهیهٔ فولاد را به یک اندازه علاقه‌مند نساخت. در فرانسه و آلمان، این روش بیشتر به‌کار گرفته شد. در سال ۱۹۱۳ حدود ۶۴٪ تولید را تشکیل می‌داد درحالی‌که در بریتانیای کبیر، تنها ۱۰٪ و در ممالک متحدهٔ امریکا ازاین روش اساساً استفاده‌ای به‌عمل نیامد. روش بسمر در این کشورها، ۴۵٪ تولید سال ۱۸۹۰ بریتانیای کبیر و ۸۷٫۸٪ تولید امریکا و تنها ۲۶٫۲٪ فرانسه را در همان زمان تشکیل می‌داد. اما ترازکلی با روش زیمنس ـ مارتن که در سالهای ۱۸۶۰ آشکار شد کامل گردید و این سهم به‌طورکل، به حساب روش بسمر، از پایان سدهٔ نوزدهم و آغاز سدهٔ بیستم به رشد پیوستهٔ خود ادامه داد.

ساخت فولاد با واکنش: روش تهیهٔ فولاد با واکنش اکسایش ـ کاهش یک مخلوط آهنی و رقیق کردن کربن، که آقای پیر ـ امیل مارتن مبتکر آن بود با کاربرد کوره‌های مخصوص گازسازها و مبادله‌کننده‌های گرما پیشنهادی زیمنس، در واقع تاریخ بسیار پیچیده‌ای دارد.

اساس این روش، نخست بوسیلهٔ رئومور درکتاب تألیفی وی که در سال ۱۷۲۲ انتشار یافت تحت عنوان Convertir le fer en acier مطرح شده بود. اصل آن شامل نگاهداری مخلوط چدن و آهن نرم در حالت مذاب برای پایین آوردن مقدار کل کربن چدن، یا عمل آوردن مخلوط چدن و تراشه‌های آهن و آهن قراضه برای اکسیدکردن بخشی از کربن چدن است. آقای رئومور آزمایشهای بسیارگرانبهایی دراین راه انجام داد و وسیلهٔ خاصی را طرح کرد. این روش با وسایل آن زمان، دشواری عملیات تصفیهٔ چدن با آهن را مرتفع نمی‌ساخت و مشکلات گرم کردن و همزنی مخلوط برجای بودند، بنابراین، نمی‌شد از آن بهره گرفت. وانگهی، نظریهٔ وی نمی‌توانست با وضع شیمی در آن زمان، به‌شایستگی استقرار یابد.

تکنسین‌هایی که بعدها خواستند آن را عملی سازند، با همین مشکلات برخورد کردند، گرچه ترکیب فراورده‌های آهنی، بیش از پیش روشن می‌شد. بدین‌ترتیب، کارهای آقایان کلوته[1] در ۱۷۸۹، ماشت و کمی بعد اوکاتیوس[2] بی‌سرانجام ماند. پس از سال ۱۸۵۰ آزمایشها شتاب گرفتند که ازآن میان می‌توان به‌کارهای جان دیوید استرلینگ[3] ۱۸۵۴، بسمر ۱۸۵۵، و در مورد کوره‌های بازتابی هم به‌کارهای سودر[4] ۱۸۵۸، هارتمان ۱۸۵۸ و الکساندر ۱۸۶۰ اشاره کرد. دریانوردی فرانسه، آزمایشهای سودر را در مونتاتر[5] و آزمایشهای فرمانده الکساندر را در منطقه روئل[6] باکمکهای مالی ناپلئون سوم مقدار زیادی به پیش برد، اما آنها را در سال ۱۸۶۲، در یک قدمی موفقیت ـ اگر وسیلهٔ گرم کردن ویژه‌ای به‌کار گرفته می‌شد ـ متوقف ساخت.

1. Clouet 2. Uchatius 3. D. stirling 4. Sudre 5. Montataire 6. Ruelle

مشکل نوع حبه‌های مخلوط شونده در کورهٔ بازتابی و مسألهٔ نسبت آنها نیز بسیار دشوار می‌نمود. در ۱۸۶۴ آقای گرونر با مشورت وزیر دریاداری، راه‌حلهایی پیشنهاد کرد که از آن میان بویژه، استفاده از کورهٔ زیمنس بود که چنان‌چه آن را ادامه می‌دادند به نتیجه می‌رسیدند. آقای برار[1] شیمیدان هم حدود سالهای ۶۴-۱۸۶۵ برای اجرای این عملیات در مونتاتر، در کوره‌های بازتابی که با هوای گرم و با گاز گازساز کار می‌کردند، در شرایطی بسیار مشابه شرایط پیرامیل مارتن ـ که کمی بعد پذیرفته شد ـ کوشید. اما نارسایی تأسیسات و بویژه دَمها سبب شد که آزمایش به پایان نرسد. با این حال، این عدم موفقیت به برار اجازه داد تا به اصیل بودن اختراع مارتن اعتراض کند و تا مدتهای زیاد مانع از این شود که سود اختراعاتش عاید وی گردد.

آغازکارهای پیرامیل مارتن: پیرامیل مارتن از خانواده‌ای دارای کارخانه آهنگری بود، بنابراین کارهای وی نتیجهٔ طرز تفکری، بسیار متفاوت، با بسمر بود. پدر او، آقای امیل مارتن با دختر صاحب یک کارخانه آهنگری، به نام ژورژ دوفو[2] ازدواج کرده بود و این ژورژ همان شخصی بود که در ۱۸۲۱ کارگاههای آهنگری فورشامبو[3] را ساخته و خودش ریخته‌گری فورشامبو را با تکمیل تأسیسات اولیهٔ آن برپا داشته بود. به‌دنبال بحران سالهای ۱۸۴۸-۱۸۴۹، یک کارخانهٔ سیم‌سازی که چند سال پیش از آن در سیروی[4] نزدیک آنگولم تأسیس شده بود با دشواریهایی روبه‌رو شد؛ وی این کارخانه را در ۱۸۵۲ خرید و به فرزند خود پیرامیل واگذاشت تا روشهای صرفاً انگلیسی تصفیهٔ چدن در آنجا تکمیل شوند. آقای پیرامیل کار خود را با بررسی سنجیدهٔ ترکیب فراورده‌های گوناگون آهن و راه‌اندازی کوره‌های بازتابی، طی چند سال آغاز کرد.

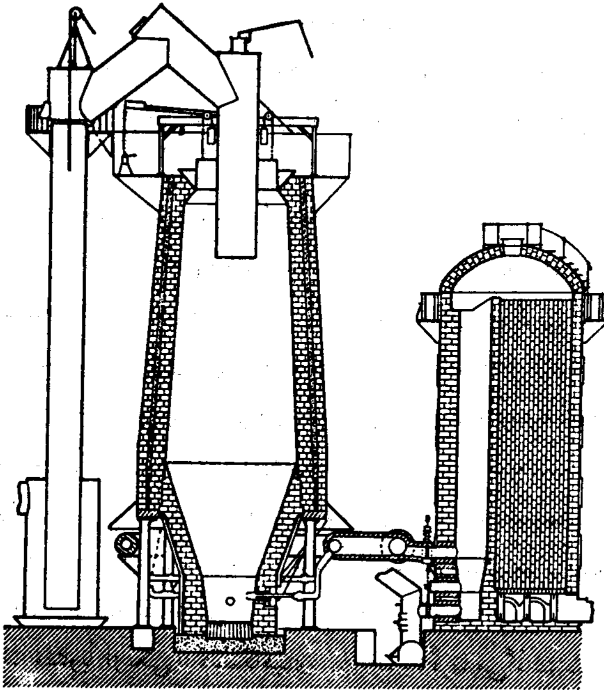
کورهٔ زیمنس: کوششهای هشیارانه‌ای که در سالهای پیش انجام گرفته بود، توجه آقای زیمنس را بر هر دو شرط اصلی موفقیت ـ رسیدن به دمایی که بار کوره را ذوب کند، و گرم کردن با روشی صرفه‌جویانه متمرکز ساخته بود. درواقع، مسأله یافتن یک روش ابتکاری گرم کردن در میان نبود، بلکه مهارت یافتن در به کارگیری روشهایی بود که می‌بایست برای پاسخگویی به نیازهای صنایع دیگری، نظیر شیشه‌سازی یا دمش درکوره‌های بلند، بی‌درنگ اصلاح شوند. آقایان فردریک و شارل ویلیام زیمنس کوره‌های بازیابی گرما (رکوپراتور) ساخته بودند که می‌شد برای کمک به کوره‌هایی گوناگون آنها را به‌کار گرفت. در سال ۱۸۷۵ آقای ا.ا. کوپر با همکاری آقایان زیمنس یک کوره بازسازی گرما (رژنراتور) ساخت تا درکورهٔ بلند، باد گرم دمیده شود. دو دستگاه از این نوع کوره‌ها در یک کورهٔ بلند، متناوباً باد گرم می‌فرستادند. گازهای خارج شونده از دهانهٔ باردهی به کوره، از یکی از این دو کورهٔ بازسازی گرما می‌گذشتند و هوایی که گرم شده بود با آنها مخلوط شده مشتعل

1. Berard 2. G. Dufaud 3. Fourchambault 4. Sireuil

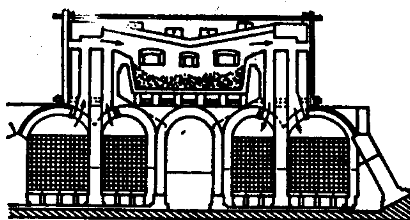
می‌شد و در نتیجه نسوزهایی را که دربرابر آن چیده شده‌اند بسیارگرم می‌کرد. در این هنگام هوای دَمها که در جهت مخالف، از کورهٔ بازسازی دوم که اینک گرم است می‌گذشت به‌سوی زنبورکهای بوتهٔ ذوب هدایت می‌شد. سپس جریانهای گاز و هوا در هر کوپر (Cowper کورهٔ بازسازی گرما)، معکوس می‌شدند. کورهٔ بازسازی سنومی به تأسیسات کوره‌های بلند افزوده شد که شامل یک غبارگیر هم بود (شکل ۴). این کورهٔ سوم به‌عنوان کورهٔ ذخیره برای زمانی است که یکی از دو کورهٔ پیشین در تعمیر باشد. به‌کارگیری و رواج این کوپرها یکی از آخرین پیشرفتهای هوادهی برای تهیهٔ چدن است.

آقایان زیمنس، کمی بعد، از این سیستم کوره‌های بازتابی برای تهیهٔ فولادهای دارای قابلیت مفتول شدن با عمل آوردن مخلوط آهن و کانی استفاده کردند. این روش، مغایر ورزیده‌سازی آهن بود، زیرا اکسایش بوسیلهٔ اکسیژن کانیها عملی می‌شد، نه بوسیله گازهای گرمی که از اجاق سنتی کورهٔ بازتابی خارج می‌شدند. گرم‌سازی این کوره‌ها به‌طور سرباز Open hearth furnace روی باری که ذوب شده بود، انجام می‌گرفت. در کورهٔ زیمنس، گرم کردن کوره بوسیلهٔ گازهای کورهٔ بلند یا گازساز بود. درگذشته دیدیم که گازسازهای با گازهای پست یا گاز آب چگونه ساخته شدند و کاربرد آنها در رشته‌های گوناگون صنعت شیمی تا چه اندازه گسترش یافت (مجلد چهارم، صفحه ۶۲۲). هوا و سوخت گازی، در دستگاههای مبادلهٔ گرما گرم می‌شدند و احتراق میان کف و سقف کوره انجام می‌گرفت. گازهای سوخته شده، پس از گذر از اطاقهایی که در آنها ذرات جامد همراه این گازها حذف می‌شدند، متناوباً ازیکی از دستگاههای مبادله‌کنندهٔ گرما می‌گذشتند (شکل ۵). ثبت این اختراع در سال ۱۸۶۱ به نام شارل ویلیام زیمنس انجام گرفت. سال بعد آقای پیرامیل مارتن جواز استفاده از آن را به‌دست آورد.

عملگران و متالورژیست‌ها: آگاهی بر تفاوتهای طرز تفکر تکاپوکنندگانی که مشکل ساخت فولاد را برطرف کردند، جالب است. نخست باید گفت که همگی دغدغهٔ مشترکی داشتند: کارکردن با توده‌های ذوب شونده، کاری که در آن زمان تنها در بوته انجام می‌گرفت. بسمر که گذشته‌ای بیگانه از متالورژی داشت برای اندیشیدن دربارهٔ اینکه ازگرمای سوخت در هوا استفاده کند و با جسارت با اختراع دستگاههای در خور، در این راه گام گذارد، فارغ از هر محذوری بود. زیمنس که تجربه‌اش در رشته گرمای صنعتی و مدل کوره‌اش برای تولید شیشه، او را هدایت می‌کرد، از آنها برای تصفیهٔ چدن، اما تنها بمنظور تولید آهن استفاده کرد. مارتن که با طرز تفکر متالورژیستی پرورش یافته بود، درکورهٔ زیمنس، آن وسیلهٔ عملی را یافت که به وی امکان می‌داد تا اندیشهٔ قدیمی رئومور را



شکل ۴.کورهٔ بلند با غبارگیر و کورهٔ بازیابی گرما.
کورهٔ بلند در وسط است، غبارگیر در سمت چپ. گازهای خروجی از دهانهٔ بارگیر کوره، که از دستگاه غبارگیر از پایین به بالا گذشته‌اند به‌سوی یکی از کوره‌های بازیابی گرما، کوپر (یکی از آنها در شکل نمایانده شده است) هدایت می‌شوند. این گازها در اطاق بزرگی که در سمت چپ نشان داده شده است، می‌سوزند و از بالا به پایین از پیچ‌وخمهای ساخته شده از خاک نسوز مبادله‌کنندهٔ گرما، در سمت راست می‌گذرند. در زمان بعد، هوای تازه از جهت مقابل از کوپر عبور می‌کند، در حالی‌که گازهای خروجی از کوره به دومین کوپر هدایت می‌شوند.



شکل ۵.برش کورهٔ زیمنس ـ مارتن برای تولید فولاد.
سوخت گازی در جهت گردش شکل، از دستگاه تبادل گرما واقع در سمت چپ عبور می‌کند، درحالی‌که هوای تبادلگر، جنب آن است. عمل احتراق پس از تلاقی هر دو مجرا انجام می‌گیرد و شعله در زیر سقف کورهٔ بازتابی پخش می‌شود. گازهای سوخته شده، هر دو کوپر سمت راست را گرم می‌کنند. این تأسیسات، همچنین دارای اطاقهایی برای غبارگیری هستند که در مدار کوپرها قرار دارند.

در صنعت وارد سازد، گرچه عملگران متعددی درگذشته و نیز تقریباً در همان زمان این اندیشه را بدون موفقیت دنبال کرده بودند اما آنها کورهٔ نوع زیمنس را در اختیار نداشتند و نیز فاقد وسعت فکری لازم برای به‌کارگیری آن در این راه بودند.

روش مارتن ـ زیمنس: آقای پیرامیل مارتن هنوز مشکلات پیچیده‌ای داشت که باید با آنها دست و پنجه کند. نخست، ترکیب کف و آستر کوره بود که می‌بایست در دماهای بالاتر از $1600^{\circ}C$ برای مدت نسبتاً زیادی، پایدار بمانند. بخش اصلی شکست پیشینیان وی، اشتباه در ترکیب این خاک بود. کوره که با آجرهای دیرگداز آستر می‌شد باید برای تحمل گرمای زیاد و تدریجی برای چندین روز مهیا باشد. کف کوره با لایهٔ نازکی از شن کوبیده شده روی صفحهٔ قطوری از آهن، آماده می‌شد، جریانی از هوا که از زیر آن می‌گذشت کف را خنک می‌کرد. این کوره یک دریچهٔ بارگیری بر روی یکی از اضلاع بزرگ خود داشت و سوراخی برای خارج شدن مذاب در ضلع مقابل آن.

هنوز لازم بود موادی را که متحمل واکنش می‌شدند انتخاب و نسبت آنها را معین کرد. چدن می‌توانست با آهن کانیها یا تراشه‌ها مخلوط باشد و طبعاً هر مخلوط به طرز خاصی ذوب می‌شد. خود آقای مارتن روش ذوب با آهن را ترجیح می‌داد؛ بزودی آشکار شد که روش وی برای انواع زیادی از چدنها مناسب است ـ چیزی که در مورد مثلاً روش بسمر وجود نداشت ـ و به‌کار بردن تراشه‌ها، در آن زمان که مصرف آهن بسرعت افزایش می‌یافت، سود اقتصادی قابل توجهی داشت. فرسایش سریع مثلاً ریلهای آهن در این زمان، شرکتهای راه‌آهن را ناگزیر به تعویض آنها، می‌کرد ـ و

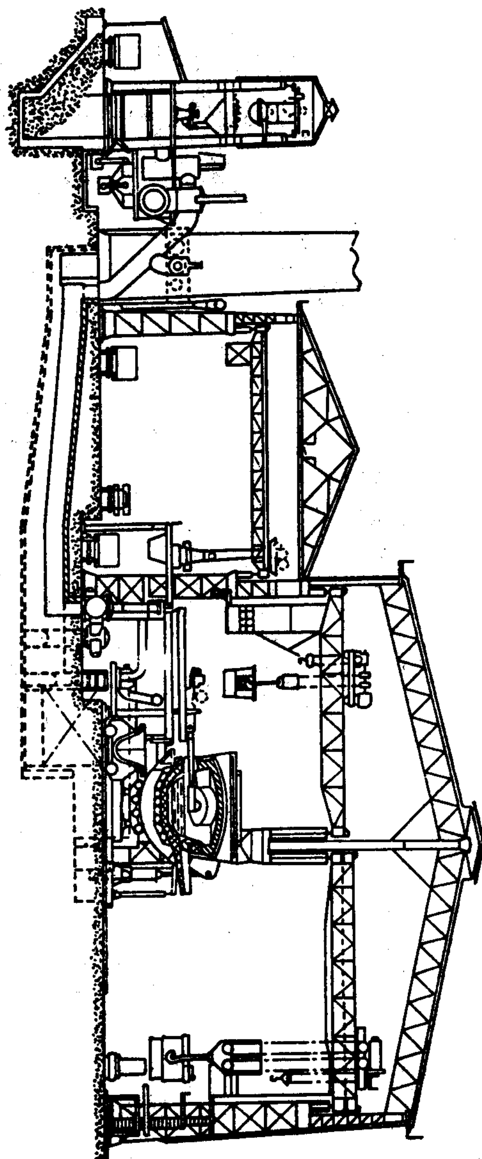
دفعات این تعویض بمراتب بیش از آن بود که پیش‌بینی شده بود. ریلهای فرسوده شده از پایان سالهای ۶۰، ماده خام ارزانی برای روش مارتن بودند. پذیرش روش مارتن در انگلیس این نتیجه را داشت که اصطلاحات انگلیسی *ore process* (فولادسازی از سنگ آهن) Scraps process (فولادسازی با آهن قراضه) وارد فرهنگ متالورژی شود و تاکنون هم باقی بماند.

مراحل روش پیرامیل مارتن با یک ردیف ثبت اختراع مشخص می‌شوند که نخستین آنها در ۱۰ ماه اوت ۱۸۶۴، یک سال پس از نخستین ریخته‌گری فولاد در ماسه، و چند روز پس از به‌دست آمدن نخستین نتیجهٔ واقعاً رضایت بخش بود؛ حدود ده دیپلم الحاقی در سالهای ۱۸۶۶ و ۱۸۶۷، زمانی‌که این روش درکارخانه‌های متعددی به‌کار افتاد، داده شد. چند سال بعد، کوره‌های مارتن به تقلید از انبیقهای توماس با آستری قلیایی ساخته شدند و این کار، دامنهٔ چدنهای قابل مصرف را گسترش داد.

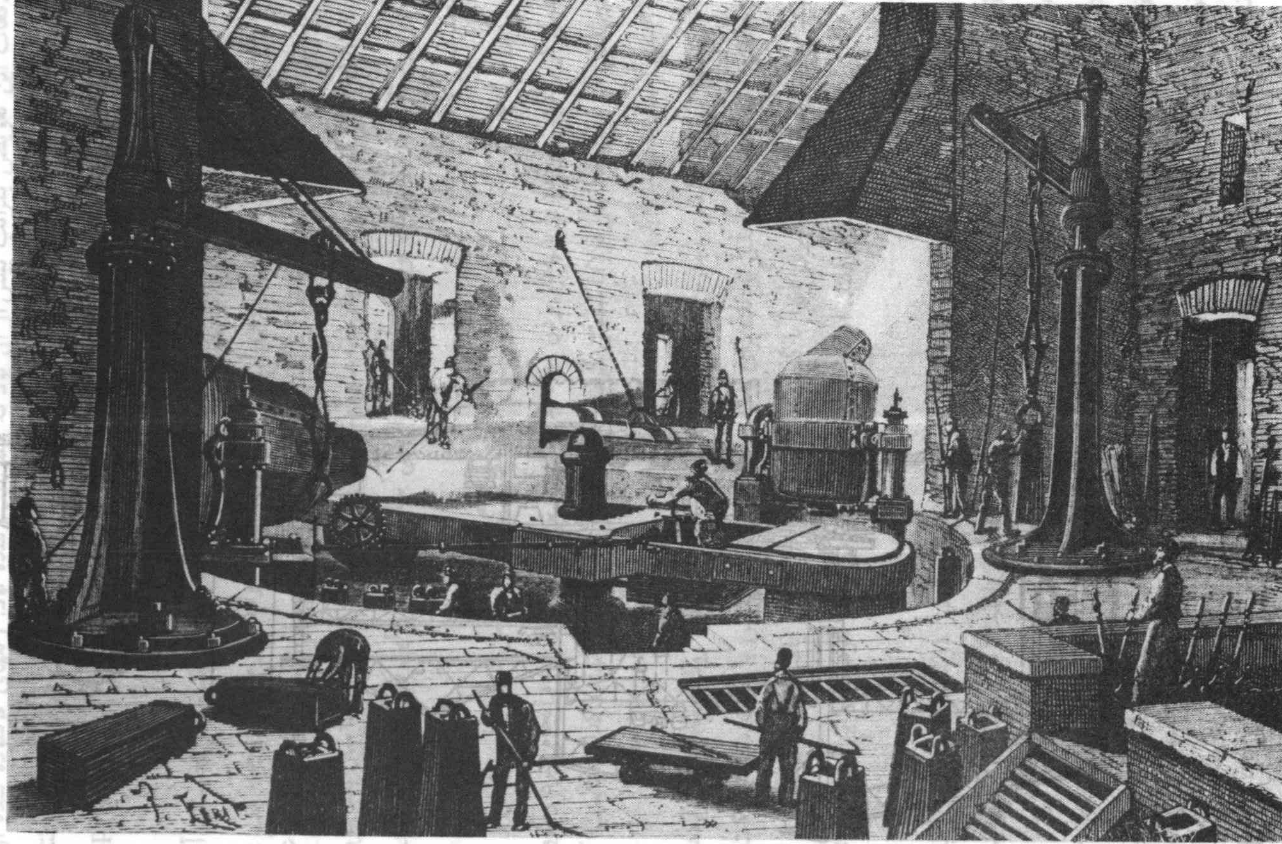
روش مارتن، مانند بسمر می‌توانست با شیوه‌های گوناگونی، عمل کربن‌زدایی کامل و سپس عمل کربن‌دهی مجدد را با به‌کار بردن مواد افزایشی، کربن‌زدایی کنترل شده انجام گیرد و گروههای مختلفی از فراورده‌ها از فولاد شمش گرفته تا فولادهایی که ترکیب آنها هرکدام مناسب کاربرد خاصی است به‌دست آید.

توفیق روش زیمنس ـ مارتن، سریع بود. نخستین تأسیسات این روش، مجهز به کوره‌هایی با گنجایش یک تا سه تن چدن بودند. برای اجرای هر بار عملیات، شش یا هفت ساعت وقت کافی بود. بعدها ظرفیت چدنگیری آنها با گذشت مدت کوتاهی افزایش یافت و به ظرفیتهایی حدود ۴۰۰ تن چدن مایع دست یافتند. اما برای تولید فولادهای مرغوب، ظرفیت را بین ۷۰ تا ۱۵۰ تن نگاه داشتند (شکل ۶).

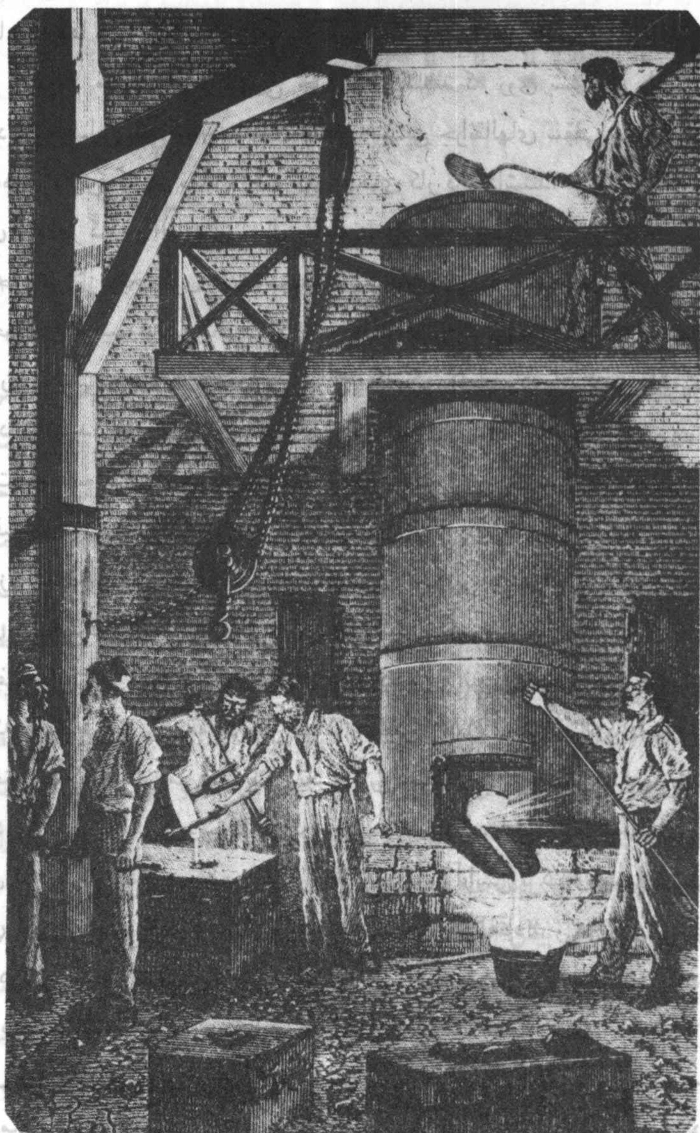
از میان سه‌روش بسمر، توماس و زیمنس ـ مارتن، روش اخیر در همهٔ کشورهای تولیدکنندهٔ فولاد، بیشتر به‌کار گرفته شد، زیرا حتی کاربرد آن هم انعطاف داشت. در سال ۱۹۱۳ تولید فولاد مارتن ۷۰٫۹٪ کل تولید فولاد بریتانیای کبیر را شامل می‌شد، درحالی‌که فولاد بسمر ۱۹٫۱٪ بود؛ در ممالک متحدهٔ امریکا که روش بسمر در سال ۱۸۹۰ از ۸۷٫۸ ٪ فراتر رفته بود، در ۱۹۱۳ فولاد بسمر، تنها ۳۴٫۵ ٪ را تشکیل می‌داد. روش توماس در امریکا با استقبال روبه‌رو نشد اما با نوع کانیهای آلمان و فرانسه، همان‌طورکه گفتیم، بیشتر تناسب داشت؛ حتی در فرانسه روش مارتن، تنها ۳۲٫۹٪ کل فولاد، و روش توماس ۶۴٪ این تولید را فرا می‌گرفت. روش بسمر، همان‌طورکه دیدیم، سهم بسیار ناچیزی داشت.



شکل ۶. یکی از تأسیسات فولادسازی مارتن، حدود ۱۹۳۰.
سمت چپ: دستگاه گازساز و تجهیزات تصفیه؛
وسط: سالن انبار و آماده‌سازی مواد خام؛
سمت راست سالن: محوطه بارزنی کوره و کورهٔ تنویی. سمت راست، سالن ریخته‌گری.



تابلوی ۱. تأسیسات فولادسازی بسمر (حدود ۱۸۸۰).



تابلوی ۲. کورهٔ کوپل، برای ذوب دوبارهٔ چدن (حدود ۱۸۷۰).

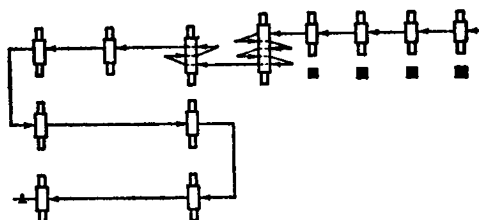
تأسیسات جدید پتک‌کاری: در دنبالهٔ این نوآوریهای بزرگ، چهرهٔ تأسیسات بسرعت متحول شد. کنورتیسورها و کوره‌ها می‌بایست چدن مذاب یا گرم را با دستگاههای مکانیکی دریافت می‌داشتند. ظرفهای پر از فولاد مذاب، در واگنهایی جابه‌جا می‌شدند که روی شبکه‌ای واقعی از ریلهای تنگ می‌گردیدند. وسایل بلند کردن متعدد شدند. نخستین جراثقالهای سقفی در سال ۱۹۰۰ برای بارزدن کوره‌های مارتن، که در مقابل تخته‌بندی سکوی کار قرار داشتند، مورد استفاده قرار گرفتند، دستگاههای تبادلگر گرما و اطاقهای آخال جامد در زیر سکو بودند.

در مراحل پس از ریخته‌گری فلز، تأسیسات پتک‌کاری و نورد، دستخوش تحول بسیار سریعی همسنگ تحول در ظرفیت تولید ریخته‌گریها شده بودند. در اواخر سده، در قسمت روشهای استخراج و شکل دادن، تنگنایی وجود نداشت، زیرا وسایل مکانیکی کامل بود. باید توجه داشت که اگر این وسایل وجود نداشتند، همهٔ کارهای مربوط به تولید انبوه فولاد، عقب می‌افتادند. در بین هر دو جنبهٔ ساخت، همیشه نوعی میل به پیشرفت وجود داشته است که در اثر آن همواره، ظرفیتهای تولید با ظرفیتهای جذب، تعادل خواهند داشت؛ و این، ناگزیر است.

در آغازهٔ سدهٔ نوزدهم، وسیلهٔ اساسی پتک‌کاری، چکش هیدرولیک بود که بزودی چکش بخاری جای آن را گرفت و پس از آن هم، نوردهای ستبراشکن و تکمیل‌کننده با گذر متناوب و در جهت مخالف حرکت در یک خط قرار گرفتند. میلگردها را با انبر از دستگاه نورد بیرون می‌کشیدند.

زمانی‌که تولید فولاد روی به افزایش نهاد، حدود ۱۸۶۶، دستگاه نورد دوطرفهٔ دارای سه غلتک ساخته شد که امکان می‌داد، بدون تغییر کار دستگاه، درهر جهت متناوب، شمش فولاد، نورد شود. در ۱۸۶۹ نخستین دستگاه نورد ردیفی در امریکا ساخته شد، سکوهای این نوردها، ردیفی دنبال یکدیگر بودند و در یک خط قرار نداشتند. این آرایش با کُندی بسیار گسترش یافت. دستگاههای نورد در یک خط همگی با یک محور به‌کار می‌افتادند و هریک می‌بایست، نقالهٔ مشخصی داشته باشد، سرعت گردش غلتکها متناسب با افزایش طول محور از یک سکو به دیگری زیادتر می‌شد. اجرای این شرایط با ماشین بخار، کار دشواری بود.

دشواری این کار زمانی روی به کاهش نهاد، که نه‌تنها موتورهای برقی، بلکه سیستمهای تنظیم، همزمان‌سازی و اتوماتیزاسیون به‌اندازهٔ کافی پیشرفت کرده بود. قطارهای ردیفی نورد، نخست به چند ردیف موازی یکدیگر تقسیم شدند و بدین‌ترتیب توانستند یک قطار پیوسته با تنها یک سکو را به‌طور خطی راه‌اندازی کنند. هرچند که بعضی از آزمایشها در همان سدهٔ نوزدهم انجام گرفت، اما تا شروع سدهٔ بیستم، این روش به‌کار گرفته نشد.



شکل ۷.نمایهٔ قطار نورد پیوستهٔ فولادسازی‌گری (Gary) (ممالک متحده امریکا، ۱۹۰۹).

قطارهای نورد پیوسته: در سال ۱۹۰۰ برای تهیه پروفیلهای ریل در ممالک متحدهٔ امریکا یک قطار نورد کار خود را آغازکرد. این قطار، نخست چهار سکوی موازی بلومینگ (نورد شمشه) و پنج سکوی نورد ردیفی ستبراشکن داشت که سه سکوی نورد اولیهٔ (اندام ساز) ردیفی و بالاخره شش سکوی نورد تکمیل به‌دنبال بودند (شکل ۷). خط پیشرفت، در تونلی گرم‌کننده قرار داشت، که در آن، شمشها از شومینه به‌طرف اجاق رانده می‌شدند. نورد پیوسته در سالهای ۱۹۲۰ با یک دستگاه برقی ساخته شد، این دستگاه با به‌حرکت درآمدن غلتکها و با برگشت‌پذیری نورد شمشه تطبیق داده شده بود. گروههای برقی مجهز به جرم لخت، سکوها را فعال می‌کردند. گویا نخستین دستگاه از این نوع در اروپا را آقای مورگان در سن ـ دنی در تأسیسات Etablissements Mouton بر پا داشت. این قطار می‌توانست چهار تن شمش را، که هر ضلع آن ۶۰ و طول آن ۱۳۰ سانتیمتر بود شکل دهد و در مدت لااقل دو دقیقه به میلگردی دارای ۱۵ سانتیمتر قطر و ۲۰ متر طول درآورد که در انتهای دستگاه با طولهای دلخواه آنها را می‌برید؛ مسألهٔ خنک کردن، دیگر مطرح نبود.

پیشرفتهای قطعی کمی پیش از آغاز جنگ دوم، در امریکا انجام گرفت. قطاری مرکب از پنج سکو در سال ۱۹۴۲ برپا شد که می‌توانست شمشهای سبک با ابعاد ۵۰ × ۶۰ میلیمتر با ضرباهنگ ۱۶۰ تن در ساعت تولید کند. تنها در یک دهه، بویژه پس از پایان جنگ در اروپا، این نوع تأسیسات بسرعت تکثیر یافتند. قطارهای نورد گرم نیز امکان دادند تا در دهه‌های بعد، ورقهای طویل، با ضرباهنگی بسیار سریع تولید شوند. این ورقها پس از خروج از کورهٔ گرم‌سازی مجدد، پس از عبور از نورد شمشه، که در اواخر سالهای ۳۰ جانشین پتک آهنکوبی شد و سراسر خودکار و بدون دخالت دست بود، از چهار سکوی ستبراشکن، یک سکوی تمیزکننده و بعد، از قطاری مرکب از شش سکوی تکمیل می‌گذشتند و ضخامت ورق به‌حدود میلیمتر می‌رسید و با سرعتی، حدود چندین ده کیلومتر در ساعت از دستگاه خارج می‌شد مدت عبور فلز از کل این قطار پیوسته از دو

دقیقه نمی‌گذشت.

ترتیب قطار نورد با انواع گوناگون فراورده‌های مورد نظر، پروفیل، سیم، قطعات صاف تطبیق داده می‌شد. کار نورد سرد ورق نیز کمی پیش از آغاز جنگ دوم شروع شد تا ورقهای نازک و دقیق برای ساخت دستگاههای فلزی، نظیر اتاق اتومبیل، یا برای انواع کارهای دیگر، مانند قوطیهای کنسرو تهیه شود. برای این کار، نوردهایی با چهار غلتک تهیه شد که یک جفت غلتک با قطر کم، از نوع فعال بودند و جفت دیگر غلتک که قطر زیاد داشتند و دربرابر خمش غلتکهای قبلی، پشتوان آنها. نخستین قطار نورد سرد در سال ۱۹۴۰ با میزی به عرض ۴/۵ متر ساخته شد که در زمان خود، بزرگترین نورد جهان بود.

غلتکهای فعال قطری برابر یک متر و طول ۴/۷۰ متر داشتند، قطر غلتکهای پشتیبان ۱/۴۰ متر بود. وانگهی، غلتکها طوری گذاشته شده بودند تا لبه برگردانی ورقها عملی شود. این تجهیزات می‌توانست تا تختال (شمش ورق) های ۱۲۰ تنی را بپذیرد. حدود یک دهۀ بعد این تجهیزات نیز تکثیر یافته بودند، آنها به‌طورکلی دارای سه یا پنج سکو بودند. تولید هریک از آنها می‌توانست در سال به یک میلیون تن ورقی برسد که با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت از قطار نوردها بیرون می‌آمدند.

در پایان این قطارهای ساخت پیوسته، نوردکاری یا سیم‌سازی، فراورده حول دستگاه بوبین پیچ می‌پیچد. این دستگاه، یک ناظم الکتریکی دارد تا سرعت پیچش با سرعت تولید و دستگاه قیچی، حذف بوبین پر و گذاردن بوبین تازه‌ای به‌جای آن و درگیرکردن فراورده روی بوبین خالی، دقیقاً همخوانی داشته باشد. مسائل مربوط به تنظیم، باید برای همۀ بخشهای قطارهای پیوسته بررسی، و با بیشترین دقت حل می‌شدند. ضخامت ثابت فراورده‌های ورقی که نباید از دو میلیمتر فراتر رود ـ کاری که تنها با کاربرد سرو و مکانیسم به‌طور رضایتبخشی حل می‌شود ـ وسیله‌ای که از شکل افتادگیهای سکو و تغییرات فاصلۀ غلتکهای نورد را، که در اثر فشارهای مکانیکی برخاسته از غیر منظم بودن شکل فلز پدید می‌آیند، به‌طور خودکار تصحیح کند.

افزایش منظم تولید و تحول کالاهای تهیه شده از زمان جنگ جهانی دوم، سبب شد که مجتمعهای سیدرورژی تجهیزات خود را نوسازی کنند و آن را با تأسیسات ساخته شده در پایان دهۀ ۴۰ متناسب سازند. در فرانسه، قطارهای نورد گرم و سرد، در سال ۱۹۴۸ هم، برای تولید ۷۰۰۰۰۰ تن در سال محصول، طرحریزی شده بودند. درحالی‌که ۲۵ سال پس از این تاریخ، تولید فراورده‌های نورد کاری به چهار میلیون تن در سال رسید. قطارهای سراسر خودکار سالهای

۶۰ تغییراتی در دستگاههای سیدرورژی وارد کردند که به‌اندازهٔ تغییرات مربوط به تکنیکهای تولید فولاد طی سالهای ۱۸۶۰ـ۱۸۸۰ عمیق بودند. اما قطارهای خودکار اخیر هم، از سال ۱۹۶۰ دستخوش مرحلهٔ تحولی سریعی هستند که تفصیل آن بعدها خواهد آمد.

۲

متالورژی و برق

تکنیکهای استخراج فلزات ناآهنی، که تا آغاز نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم، بدون تغییر مانده بودند، در سالهای ۱۸۸۰ تحول سریعی را شروع کردند. کاربرد روشهای الکترولیز، که بزحمت به صنعتی تبدیلی، گالوانوپلاستی، دست یافته بود، پس ازگذشت چهل سال، در ۱۸۷۸، زمانی‌که کار ذوب به کمک پدیدهٔ ژول، برای تصفیهٔ فولاد مورد آزمایش بود، در تصفیهٔ مس گسترش یافت. سپس تصفیهٔ محلولهای معدنی آلومینیم با برق، سبب شد که این فلز از ردیف فلزات گران و ویژهٔ کاربردهای استثنایی، وارد جرگهٔ فلزهای ارزان و دارای کاربرد صنعتی شود.

افزایش تقاضا برای فلزات: تا آن زمان، شمار فلزات غیرفلزی که طبق سنت در صنعت به‌کار گرفته می‌شدند، ثابت مانده بود. سرب که جلوتر از بقیه بود مس را به‌دنبال داشت که در تولید جهانی مکان دوم را از آن خود کرده بود و در چند سال پیش از پایان سدهٔ نوزدهم کمی از روی جلوتر بود؛ سپس نوبت به قلع می‌رسید. اما، در این دوره می‌بینیم که پیشرفت تولید جهانی، طی دو یا سه دههٔ اخیر به‌طور چشمگیر و ناگهانی سرعت گرفت. علی‌رغم بی‌دقتی و ناهمخوانی در آمارهای این دوره، در مقیاس جهانی می‌توان ادعا کرد که درطی بحرانهای پایان سده، متالورژی

فلزات ناآهنی توانسته است به تقاضاهای روز افزون پاسخ گوید. تولید سرب طی سی‌وپنج سال، چهار برابر شد (سال ۱۸۶۲ تولید آن ۲۲۴۶۰۰ تن بود، اما در ۱۸۹۷ به ۷۹۴۰۰۰ تن رسید)؛ تولید مس در این مدت ۵/۵ برابر (زیرا در سال ۱۸۹۷ به ۴۱۸۰۰۰ تن رسید)، تولید روی ۴/۵ برابر (در ۱۸۹۷ به ۴۵۰۰۰۰ تن رسید) و بالاخره، تولید قلع در همین مدت، سه برابر شد. اگر این پیشرفتها را با پیشرفت تولید چدن مقایسه کنیم می‌بینیم که مقدار ۷۹۰۰۰۰۰ تن تولید سال ۱۸۶۱ به ۲۸۸۰۰۰۰۰ تن در ۱۸۹۵ رسید، که بر پیشرفت مصرف فلزات، طی چهار دهۀ پایانی سدۀ نوزدهم گواهی دارد.

همان‌طورکه معلوم است، این پیشرفت تا کنون، شتابان بوده است. مثلاً در آغاز دهۀ ۱۹۷۰، تولید جهانی مس به رقم ۶/۵ میلیون تن دست یافت، یعنی مقدار آن نسبت به شروع سدۀ بیستم، ۱۳ برابر شده بود. دربارۀ فراورده‌های آهنی، باید گفت که دیگر نمی‌توان مانند گذشته به تولید چدن استناد کرد، بلکه باید تولید فولاد را گواه گرفت که ارزش بیشتری از چدن دارد. تولید جهانی آن در سال ۱۹۷۱ از ۷۰۰ میلیون تن گذشت. می‌توان این رقم را دربرابر ۲۹ میلیون تن چدن آغاز این سده قرار داد تا تصوری از شتاب تولید جهانی به‌دست آید.

بدین ترتیب، در دهه‌های پایانی سدۀ نوزدهم، فشارهای برخاسته از نیازهای تازه سبب شد که در روش تولید فلزات غیرآهنی نیز مانند رشتۀ سیدرورژی تغییرات برگشت‌ناپذیری پدید آید. از ماهیت نیازهای آن روزگار اطلاع داریم. سرب، بی‌شبهه در کارهای مربوط به تجهیزات شهری برای ساخت لوله‌های آبرسانی و گاز شهر تا خانه‌ها و آپارتمانهای شخصی، مقام نخست را داشته است. فراورده‌های دیگری مثلاً انباره (آکومولاتور)ها به سائقۀ نوآوری ساخته شدند که پس از مدت کوتاهی، در تولید و توزیع برق، سهم مؤثری یافتند. برق، همچنین سهم روزافزونی از مس و آلیاژهای آن را به خود تخصیص داد ـ سهمی که در دهه‌های پیشین بر اثر گسترش وسایل مسین در صنعت برای رشته‌های خاصی از شیمی، زیادشده بود.

تحول در ساخت کوره‌های کلاسیکی استخراج: در این‌باره نخست باید از تکمیل کوره‌های کلاسیک و پیدایش انواع تازۀ کوره‌ها سخن گوییم که افزایش تولید فلزات را ممکن ساختند. کورۀ بازتابی که از یک سدۀ پیش رواج یافته بود، در این زمان برای چاره‌کاری تقریباً همۀ کانیها یا ترکیبات واسطه‌ای به‌کار گرفته می‌شد. عملاً در پایان سدۀ نوزدهم بود که تواناییهای مورد توقع از آن، حتی با وسایل مکانیکی یا روشهای گرم‌کردنهای متناسب، به انتها رسید. درگذشته دیده شد که چگونه کوره‌های عمودی تشویۀ کانیهای گوگردی متحول شدند (به مجلد چهارم، صفحات ۶۱۲ تا ۶۱۹ مراجعه کنید).

کوره‌های استوانه‌ای نیز در شمار تجهیزات سنتی کارخانه‌های استخراج فلز هستند. این مجموعه امکان چاره کاری بسیار آسان کانیهایی مانند گالن (سولفید سرب) را فراهم ساخت، که تشویهٔ به‌اصطلاح کشنده، آن را اکسید می‌کند و با احیای آن به توسط زغال، فلز به‌دست می‌آید. طبیعی است که شیوه‌های گوناگونی، طبق سنتهای مرسوم در محلهای چاره کاری در کشورهای مختلف عملی شوند، اما همهٔ آنها تقریباً از یک واکنش کلی پیروی می‌کردند، ـ حتی اگر هم عمل در انواع و اشکال گوناگونی از کوره‌ها انجام می‌گرفت. استخراج روی نیز بسیار آسان بود. طرز تهیهٔ صنعتی آن لااقل در اروپا، بیشتر از ۱۵۰ سال سابقه نداشت. دمای ذوب کمی بالای ۴۱۰ درجهٔ این فلز و بخار شدن آن در روشهای سادهٔ استخراج و خالص‌سازی، مفید واقع می‌شود. استخراج قلع که دمای ذوب آن ۲۲۸ درجه است نیز در کوره‌های استوانه‌ای یا بازتابی با سادگی فراوان انجام می‌گیرد.

استخراج مس: برخلاف فلزات پیش گفته، استخراج مس، لااقل با روشهای خشک، بسیار دشوار بود. درواقع، به‌طور سنتی با روش مرطوب آشنا بودند. در این روش، کانیهای اکسیدی را محلول می‌ساختند و مس‌سولفات یا کلرید آن را با آهن مبادله می‌کردند. اما این روش از لحاظ اقتصادی، تنها برای کانیهای فقیر یا ترکیبات باقیمانده عملی بود. در معادن قدیمی پیریت ریو ـ تینتو[1] که کانیهای باقیمانده، طبعاً تحت تأثیر هوا و آبهای اسیدی جاری به سولفات تبدیل می‌شوند، روش محلول کردن بهتر است. زمانی‌که جداسازی مس را می‌توان با الکترولیز انجام داد، روش بالا جالبتر شده و رواج یافته است. اما، به‌طورکلی روش هیدرومتالورژی که برای کانیهای فقیر بسیار مناسب است بعدها این صنعت را، به‌علت تمام شدن کانیهای غنی، قبضه کرد.

روشهای خشک، این‌چنین ساده نیستند. زمانی‌که با کانیهای اکسیدی سروکار داریم می‌توان آنها را با زغال درکوره‌های استوانه‌ای احیا کرد. اما این مورد، زیاد نیست و این شیوهٔ چاره‌کاری، تنها پس از کشف و کاربرد رگه‌های کاتانگا، شبا[2]، حکومت فعلی زئیر، اهمیتی به‌دست آورد. کانیهای بسیار فراوان مس، پیریتهایی هستند که غالباً با ترکیبات متعدد دیگری مخلوط شده‌اند. آماده‌سازی این کانه‌ها شامل یک ردیف عملیات تشویه و ذوب برای حذف مرحله به مرحلهٔ عناصر همراه با مس و نیز ناخالصیها است. دشوارترین مراحل عبارتند از: چاره‌کاری ماتهای مس به‌دست آمده از ذوب نخست و دوم و نیز یک تشویهٔ واسطه‌ای؛ سپس عملیات خالص‌سازی و تصفیه. ذوبهای اولیه در کوره‌های استوانه‌ای و ذوبهای بعدی در کوره‌های بازتابی و گاهی در کوره‌های بشکه‌ای (یا کاتالونیایی) انجام می‌گیرند. شیوه‌های کار بستگی به مبداء کانی و ترکیب کانیهای آماده

1. Rio-Tinto 2. Shaba

شده دارند، و حدود شش یا هفت و گاهی ده مرحله عملیات را تحمل می‌کنند.

بسمری کردن مس: به‌محض پیدایش روش بسمر در ۱۸۵۶ برای استفاده از آن در غنی‌سازی مات مس و جدا کردن مس از سرباره آزمایشهایی آغاز شدند. نخستین امتیازهایی که در این باره به‌ثبت رسیدند به‌نامهای آقای گوسیج انگلیسی در ماه اوت ۱۸۵۶ و ویلیام کیتس[1] چند هفته پس از وی و سرانجام آقای ایرم بگز[2] چند روز پس از شخص اخیر بود. مسأله هنوز مربوط به استفاده از کنورتیسور نمی‌شد اما در اطراف غنی‌سازی مات مس یا حتی خود کانی، بوسیلهٔ دمیدن باد تند در یک کورهٔ کوپل دور می‌زد، ـ کاری که بسمر در آزمایشهای نخستین خود انجام داده بود. اما این روشها هیچ‌گاه تکمیل نشدند. تنها ده سال بعد (در ۱۸۶۶) بود که یک آلمانی به نام رات[3] و یک اتریشی به نام ریتینگر[4] بدون ارتباط با یکدیگر، اندیشیدند که برای غنی‌سازی مات از کنورتیسور بسمر استفاده کنند. آزمایشهای این طرح به‌علت جنگهای اتریش ـ آلمان و بعد فرانسه ـ آلمان تا سال ۱۸۷۱ انجام نگرفت و در این سال با کوره‌های بازتابی این آزمایشها را عملی کردند. در این زمان یک متالورژ روسی با نام سمنیکوف[5] گویا توانست بسمری کردن مات را انجام دهد اما بدون اینکه مس خام (مس سیاه یا جوشمس) را به‌دست آورد. برای استفاده از دمیدن سادهٔ هوا یا کنورتیسور در متالورژی مس تعداد دیگری هم کار کرده‌اند، از آن میان می‌توان بویژه از آقای ج. هالوی[6] انگلیسی در ۱۸۷۹ بخاطر تکلیس پیریت در یک ظرف دربسته، به‌جای تشویه در کورهٔ بازتابی نام برد، گویا وی از تحقیقات اولیهٔ آقای پیرمانس[7] الهام گرفته بود. در اواخر سالهای ۷۰ نظرات دربارهٔ امکانات و مزایای احتمالی کاربرد روش بسمر در مورد مس، بسیار متشتت بود.

در این سیاههٔ طویل تحقیقات، تجربه‌گران بدشواریهایی برخورد کردند که برخاسته از طبیعت مات بود. مات ترکیبی بسیار مفصّلتر از چدن است. مس در حالت اکسید یا سولفید تنها یک‌سوم وزن ترکیب را دارد. ناخالصیهای آن اساساً از آهن و تعدادی فلز دیگر، براساس معدن آن، سرب، روی، ارسنیک، آنتیموان و غیره می‌باشند. واکنشهای شیمیایی در مدت ذوب و تشویهٔ مات نیز بسیار پیچیده‌تر از واکنشهای چدن درکنورتیسور می‌باشند. باید به مات مذاب مقدار زیادی سیلیس افزود تا آهن تثبیت شود. با درنظر گرفتن نسبت بالای سرباره‌ها، حذف آنها به‌هنگام ریخته‌گری موجب اتلاف گرمای زیاد می‌شود. در زمان تشویه، مس که سنگینتر است آزاد شده از مات جدا می‌شود و دما را باید با سوزانیدن عناصر اکسیدشدنی آن ثابت نگاه داشت. مس که در کف کوره کوپل یا کنورتیسور جمع شده است در اثر هوای دمیده‌شده خنک و رفته رفته جامد می‌شود، و در

1. W. Keats 2. Irham Baggs 3. Raht 4. Rittinger 5. Semennikov 6. J.Hollway 7. P. Manhe's

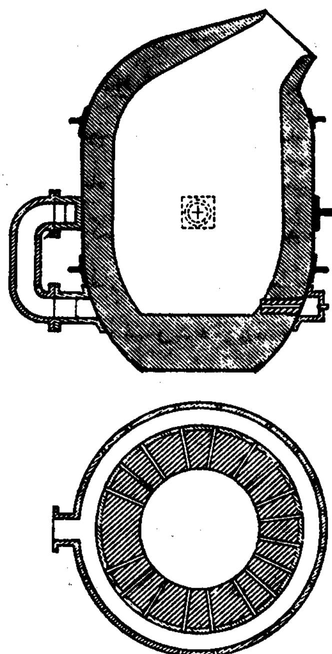
این حالت، عبور هوا را سد می‌کند. وانگهی آستر داخلی کنورتیسور در اثر اکسید آهن مذاب، فوری خراب می‌شود.

استفاده از کورهٔ بسمر در ذوب مس به دلایل بالا، عملی نمی‌نمود. درواقع دشواری کار بوسیله آقای پل داوید فرانسوی سریعاً برطرف شد، این شخص مهندس متالورژی آقای پیرمانس در کارخانهٔ وی در ناحیهٔ ودن[1] در وکلوز بود. گویا این آزمایشها را خود مانس شروع کرده بود، زیرا نخستین اختراع، تنها به نام خود آقای مانس در ماه مه ۱۸۸۰ به‌ثبت رسیده است و سه دیپلم دیگر نیز به نام وی می‌باشد. این صنعتگر استفاده از کنورتیسور برای تهیهٔ نه تنها مس خام، بلکه مس خالص و نیز افزایش منگنز به چدنهای مذاب فسفری و سیلیسی را به خود نسبت داده است. با این همه، نتایج آزمایشها هنوز رضایتبخش نبودند، زیرا همان گرفتاریها، چنانچه مهارت کارگران بالا نرفته بود، وجود داشتند. بزرگترین گرفتاری را آقای پل داوید، سال بعد، بسادگی برطرف کرد. برای این کار او زنبورکهای کنورتیسور را، نه در کف ظرف، بلکه در اطراف آن گذاشت (شکل ۸). ترتیب زنبورکهای جانبی پایدار ماند زیرا مس که در جریان غنی‌سازی، از مات جدا می‌شود در کف کنورتیسور، در زیر سوراخ زنبورکها ته‌نشین می‌شود. فلز در اثر گذر هوای سرد، که سوختن مات را فعال و ادامه می‌دهد، دیگر سرد نمی‌شود و دمای بالای ذوب ثابت می‌ماند، هر دو لایه، لایهٔ فلز در کف و لایهٔ مات در بالا، به حالت مذاب باقی می‌مانند و عملیات تا انتها، تا سرریز کردن سرباره‌ها و سپس ریخته‌گری فلز مذاب، به پیش می‌رود.

از همان آغاز سالهای ۸۰، کنورتیسور ویژهٔ مس با زنبورکهای جانبی در مراکز اصلی تولیدی، بویژه در ممالک متحدهٔ امریکا به‌کار گرفته شد، هر کارخانه در عین اینکه اسکلت اصلی این کنورتیسور را حفظ کرده بود، در جزئیات آن تغییراتی داده بود. آقایان مانس و داوید، پس از دو سال کار با کنورتیسور، به آن شکل استوانه‌ای افقی دادند که بر روی غلتکهایی گذاشته شده بود و بنابراین امکان داشت آن را حول محورش بگردانند (شکل ۹). زنبورکهای متعددی، ده عدد در نمونهٔ نخست، طبق خط مولد استوانه جاگذاری شدند. زمانی‌که در اثر گردش استوانه، خط زنبورک بالا می‌رود، گنجایش پایین کنورتیسور را مطابق نوع ماتهای مورد تصفیه و نیز مقدار فلزی که باید در کف کوره جمع شود، تغییر می‌دادند.

عیب اساسی کنورتیسور عمودی، که فقط با نوع ویژه‌ای از مات، مطابق کانی آن، می‌توانست مفید واقع شود، بدین ترتیب برطرف شد. کنورتیسور استوانه‌ای افقی گویا طی چند سال رواج عمومی یافت و با آن می‌شد ماتهای حتی دارای مقدار کم مس را هم، تنها در یک عملیات تصفیه کرد.

1. Vede'ne

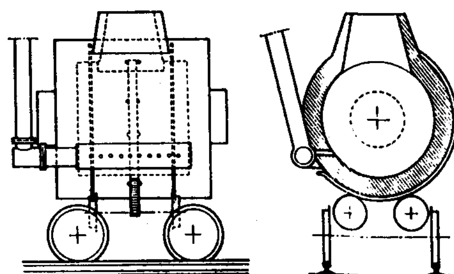


شکل ۸. اولین کنورتیسور، برای مس، ساخت مانس ـ داوید ۱۸۸۰.
در بالا، مقطع عمودی؛ در زیر، مقطع عرضی از محور زنبورکها، در اواسط ارتفاع انبیق.

در سال ۱۹۱۱ زمانی‌که آقای پیرس اسمیت[1]، آستری سیلیسی آن‌را، که برای تثبیت اکسیدآهن بود و بارها می‌شد آن را تعمیر کرد با آستری قلیایی، که اگر با مهارت خاصی چیده می‌شد، خراب ناشدنی بود عوض کرد، کاربرد آن رواج بیشتری یافت. مقدار سیلیس لازم برای تثبیت آهن را درحین عملیات می‌افزود و سیلیکات آهن، همراه سرباره خارج می‌شد.

واتر جاکت: حدود سالهای ۱۸۸۰، کار استخراج مس، تحول سریعی را آغاز کرد. مرکز تولید کنندهٔ مس در ویلز جنوبی، درهٔ سوانسی، که در آغاز سده اهمیت فراوان یافته بود همراه با پیشرفت استخراج رگه‌های مس اسپانیا، شیلی و بویژه ممالک متحده امریکا که با استخراج ۵۰٪ تولید جهانی، مقام اول را در تولید مس به‌دست آورده بود تحلیل می‌رفت. غنی‌سازی کانیها روز به روز

1. Pierce Smith

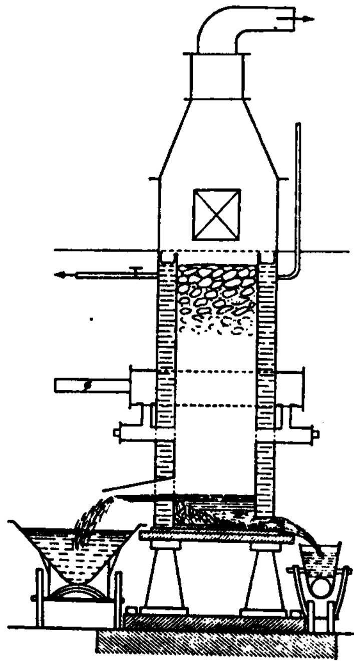


شکل ۹.کنورتیسور استوانه‌ای؛ ساخت مانس ـ داوید، **۱۸۸۲** برای مس.
سمت چپ: مقطع طولی، ردیف زنبورکها دیده می‌شوند و سمت چپ آنها، لولهٔ ورود هواست. کنورتیسور بر روی واگونی قرار دارد که روی ریلها حرکت می‌کند. سمت راست: مقطع جنبی، که در آن تسمهٔ حلقوی که روی چرخکهایی می‌گردد دیده می‌شود؛ این تسمه، کنورتیسور را در بر گرفته است.

بیشتر با استخراج رگه‌ها، اصولاً در شیلی، میشیگان، آریزونا و مونتانا یک‌پارچه شده بود. با وجود پذیرش کنورتیسور، کورهٔ بازتابی تا آغاز سدهٔ بیستم دربرخی مراکز غنی‌سازی، مثلاً در آناکوندا واقع در مونتانا هنوز فعال بود.

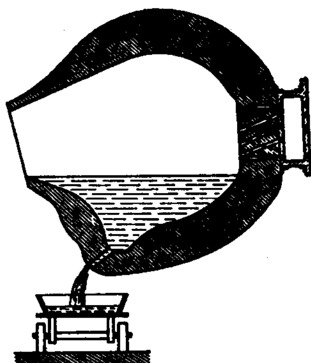
تجهیزات کوره‌های ویژهٔ ذوب مات، پس از تشویهٔ نخست کانیها، تکمیل شده بودند. در روشی که در ویلز متداول بود، این کار درکوره‌های بازتابی انجام می‌گرفت و در روش آلمانی، درکوره‌های استوانه‌ای. از نوع کلاسیک این کوره‌ها در سال ۱۹۰۰ یکی هنوز کار می‌کرد که شامل دو محفظهٔ بسته از ورق آهن بود که جریانی از آب در فاصلهٔ این دو می‌گذشت. این واتر جاکت می‌توانست به تجهیزات غنی‌سازی کانیها در خود رگه‌ها پاسخ دهد و طی چند سال رواج کلی یافت (شکل ۱۰). واتر جاکت، در آغاز به‌شکل استوانه ساخته می‌شد، اما پس از اندک مدتی آن را به‌شکل چهار ضلعی با ابعاد ۱ × ۱۰ متر ساختند. صنعت سرب برای احیای کانیهای اکسید پس از تشویه و دیگر عملیات، از صنعت تولید مس بهره گرفته است.

بازیابی فلزات همراه: صنعت استخراج مس، جنبه‌های دیگری هم دارد که نمی‌توان آنها را نادیده انگاشت، مانند بازیابی فلزاتی نظیر: طلا، نقره، نیکل وکبالت ـ پس از جداسازی، طلا، سود اقتصادی زیاد دارد؛ کبالت در ساخت رنگدانه‌های ملون به‌کار می‌رود؛ نیکل تقریباً بدون استفاده است. کارخانه‌های سوانسی، زمانی‌که تولید مس آنها تقریباً قابل توجه نبود، مدت سی یا چهل سال در بازیابی فلزات همراه، تخصص یافتند و برای این کار، مس ناخالص دریافتی ازکارخانه‌های دیگر را



شکل ۱۰.مقطع یک کورهٔ استوانه‌ای واتر ـ جاکت، حدود ۱۹۱۰.
آب در فاصله دو ورق آهن گردش می‌کند. جعبهٔ هوا در میانهٔ ارتفاع استوانه قرار دارد (هوا از سمت چپ وارد می‌شود) و زنبورکها هوا را در بسترهای گداز، در بخش بالایی استوانه می‌دمند. دود و غبار از بالای کوره خارج می‌شود. دهانهٔ باردهی در قاعدهٔ استوانه‌ای بخش بالایی کوره است. در پایین: در بوته؛ سمت چپ: سوراخ سرباره؛ سمت راست: سوراخ مات.

تصفیه می‌کردند. روشی که روبار ـ زیربار (*Top & bottom process*) خوانده می‌شد بر این پایه قرار داشت که بخشی از مس که در ته ظرف جمع می‌شد، همهٔ ناخالصیها را به خود می‌گرفت و مس خام در بالا می‌ماند. آقای پل داوید که در تلاش تکمیل کنورتیسور خود بود، شکل خاصی برای آن اندیشید و آن را سلکتور نامید که در آن، از یک مجرای فرعی، زیربار محتوی همهٔ ناخالصیهایی که قرار بود بازیابی شوند، خارج می‌شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱.سلکتور پل داوید، برای بازیابی طلای همراه.
این سلکتور می‌تواند موقعیتهای متفاوتی بگیرد: افقی مایل به راست، برای بارگیری، عمودی، دمش برای تشویه، برگشت به حالت اول، بیرون‌ریختن سرباره، برگشت به حالت عمودی، دمش برای ذوب اول، موقعیتی که در شکل دیده می‌شود، موقعیت مناسب حذف زیر بار طلادار و آخرین ناخالصیهاست. با تجدید دو حرکت اخیر، مس را ذوب و در قالب می‌ریزند.

برای بازیابی کبالت و نیکل، انگلیسیها در سال ۱۸۴۴ روش روبار- زیربار را طرح کرده بودند. مقداری بی‌سولفات سدیم و زغال به مات مذاب می‌افزایند. احیایی که در کورهٔ استوانه‌ای پدید می‌آید مخلوط مایعی از سولفیدها می‌دهد. سولفیدمس در سولفیدسدیم حل شده و در سطح سولفیدهای دیگری که در کف کوره جدا شده‌اند، شناور می‌شود.

استخراج نیکل: استخراج کبالت و نیکل از کانیها در دو دهۀ پایانی سدۀ نوزدهم، یعنی زمانی شروع شد که رگه‌های مهم، بهتر شناسایی شدند. متالورژی نیکل به‌مناسبت اهمیت روزافزونی که این فلز به‌هنگام صنعتی شدن تهیۀ فولادهای نیکل‌دار، و نیز بعدها، آلیاژهای نیکل با فلزات دیگر به‌دست آورد به بیشترین توسعه دست یافت. استخراج کانیهای سیلیکاتی کالدونیای جدید در سال ۱۸۷۵ شروع شد. این رگه‌ها را آقای ژول گارنیه ده سال پیش کشف کرده بود و این کانی به نام وی ثبت شده است: گارنییریت. رگه‌های مهم دیگری در ۱۸۸۳ در اونتاریو، در سادبری[1] واقع در شرق دریاچه‌های بزرگ، حین کارهای Canadian Pacific Railway کشف شدند.

استخراج نیکل برای پاسخگویی به نیازهای نوین صنعتی در آغاز دهۀ ۱۸۹۰ آغاز شد. آقای

1. Sudbury

ر. م. تامسون[1] در ۱۸۹۳ روش سوانسی را برای ذوب مس به قصد استخراج نیکل ـ با تکرار دوبار جداسازی روبار از زیربار، و نیز حذف نمکهای سدیم با انحلال ـ به‌کار گرفت. سولفیدنیکل، تشویه و سپس این اکسید، در کورهٔ بازتابی، احیا می‌شد. تصفیهٔ نیکل از راه الکترولیز بود. این عملیات بسیار شکنجه‌آور، و در ضمن، مستلزم خرد کردن قطعات نیکل جامد شده، با چکش هم بود. تصفیهٔ با الکترولیز، گران تمام می‌شد.

کشف نیکل کربنیل به توسط آقای لودویگ موند[2] در ۱۸۹۰ به‌روش استخراج مستقیمتر نیکل منجر شد. آقای موند مشاهده کرد که اکسیدکربن با بعضی فلزها، از قبیل آهن، نیکل و کبالت، متحد می‌شود ـ اتحادی که در بعضی شرایط پایدار است. نیکل کربنیل $Ni(CO)_۴$ دارای این خاصیت است که در دمای بسیار پایین، حدود $۳۰^\circ C$ درجه تشکیل می‌شود و خود را به‌شکل مایعی نشان می‌دهد که در دمای $۴۳^\circ C$ می‌جوشد. گاز CO در دمای حدود $۲۰۰^\circ C$ جدا می‌شود و نیکل فلزی برجای می‌ماند.

آقای موند و دستیار وی آقای کارل لنگر[3] برای جداسازی نیکل از ناخالصیهای آن، در مرحلهٔ پس از غنی‌سازی کانیهانی اکسید شده، بر پایهٔ اطلاعات بالا برای یک روش صنعتی به مطالعه و تحقیق پرداختند. بعدها نشان داده شد که برحسب نوع کانی، غنی‌سازی مقدماتی می‌تواند بسیار پیچیده باشد. اما روش نهایی جداسازی نیکل از ناخالصیهای آن، به گفته شیمی‌دانان، بسیار عالی است.

مخلوط اکسیدهای نیکل و اساساً مس و بعد، آهن، کبالت و غیره با گاز آب و در برجی که از کوره‌های تشویه اقتباس شده به کمک همزنهای گردان احیا می‌شوند. این جرم، طبقه به طبقه روی بشقابکهای دارای دو کف که جهت گرم کردن بشقابکهای بالایی و خنک‌سازی بشقابکهای پایینی به کمک جریان گاز یا آب ساخته شده‌اند پایین می‌افتد. بشقابکهای بالایی حدود ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه گرم می‌شوند و این دمایی است که اکسیدها بدون اینکه تشکیل نیکل‌کربنیل بدهند، احیا می‌شوند. بشقابکهای پایینی تا دمای ۵۰ یا ۶۰ درجه خنک می‌شوند و در این دما واکنش اکسیدکربن روی نیکل بسیار سریع است و در همان حال ترکیب نیکل، تبخیر می‌شود؛ فلزات دیگر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. بخارهای نیکل‌کربنیل به سوی ظرفی فرستاده می‌شوند که در آن نیکل خالص ساچمه‌ای وجود دارد. نیکل آزاد شده با جدا شدن ترکیب اکسیدکربن، روی ساچمه‌ها تثبیت می‌شود.

تکمیل این روش برای صنعت، سه سال به طول انجامید. یک مؤسسه آزمایشگاهی در حوالی

1. R. M. Thompson 2. Ludwig Mond 3. Carl Langer

بیرمنگام در ناحیهٔ اسمذیک[1] در ۱۸۹۲ برپا شد که در سایهٔ آن همه دشواریهای کاری برطرف شدند. اما این طرز استخراج تا سال ۱۹۰۰ شروع نشد. در این سال در کارخانه‌ای که در کانادا، در ناحیه‌ای که دارای آنتراسیتهای مناسب تغذیه گازسازها بود، در درهٔ تاوه[2] تأسیس شد، آن را عملی کردند.

تولید جهانی نیکل تا زمان کشف رگه‌های کالدونیای جدید، بسیار پایین (حدود ۴۰۰ تن در سال) باقی مانده بود. از آن پس رشد منظم آن آغاز شد: از ۱۲۰۰ تن سال ۱۸۸۰ به ۲۰۰۰ تن ۱۸۸۴. از سال ۱۸۸۶ تقاضاهایی برای ساختن زره از آن زیاد شد. تولید نیکل در پایان سدهٔ نوزدهم به ۶۲۰۰ تن رسید که ۵۰۰۰ تن آن در کانادا استخراج شده بود، و در ۱۹۰۲ تولید جهانی آن به رقم ۸۵۰۰۰ تن دست یافت.

آماده‌سازی کانیها: نمونهٔ استخراج مس و نیکل به ما کمک می‌کنند تا درک کنیم که چگونه پس از استخراج آهن، متالورژی فلزات ناآهنی وارد دورهٔ جدیدی از تاریخ خود شد و با روشهای سنتی به‌طور کم و بیش ریشه‌ای قطع رابطه کرد. در این دوره، متناسب با نیاز به فلزات که بتازگی رشد منظمی یافته بود ـ رشدی که تا این روزها هنوز ادامه دارد ـ تولید آنها افزایش یافت. اگر بخواهیم نمایش کاملتری از این تحول تکنیکی داشته باشیم، باید پیشرفتهایی را که در کارهای پیش از جداسازی فلزات، در مرحلهٔ آماده‌سازی کانیهای به‌دست آمده بود درنظر بگیریم. کار خرد کردن کانیها، سرند کاری آنها و حذف آخال، طبعاً به پیشرفتهای مکانیکی دست یافته بودند که دسترسی آزاد به نیروی محرکه به آنها کمک می‌کرد. جداسازی کانیها با استفاده از جریان آب و رده‌بندی فراورده‌ها بر پایهٔ چگالی آنها، در اواخر سدهٔ نوزدهم با کاربرد میزهای دارای شیارهای موازی تکمیل شد. روشهای دیگری نیز، عرضه شدند.

روش شناورسازی که در سدهٔ نوزدهم، برای جداسازی کانیهای سولفیدی، گالن، بلند، پیریت، بهترین بود و به توسط آقایان پاتر[3] و دلپرات[4] در سال ۱۹۰۱ با بهره گرفتن از خاصیت این ترکیبات، که پس از آسیا شدن، مقداری کمی روغن را جذب می‌کردند و شناور ماندن آنها روی جریان آب تکمیل می‌شد و آخال مخلوط با آنها، در آب ته‌نشین می‌شدند. جداسازی بعضی کانیها بوسیلهٔ مغناطیسهای برقی در اواخر سدهٔ نوزدهم به‌کار گرفته شد و این زمانی بود که همین دستگاهها برای جابه‌جا کردن آهن قراضه در کارگاههای فولادسازی مارتن مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

همراه با این خطوط تحولی بزرگ، در همان ایام، کاربرد برق با استفاده از پدیده‌های الکترولیزی یا گرمایی، ردیف تازه‌ای از تجهیزات متالورژی عرضه داشت و به فهرست فراورده‌هایی که در

1. Smethwick 2. Tawe 3. Patter 4. Delprat

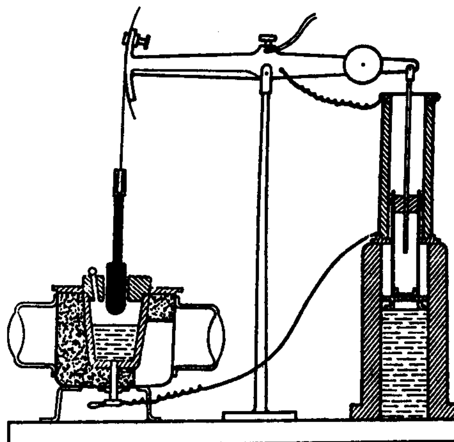
صنعت کاربرد داشتند، افزود.

نخستین کوره‌های برقی در متالورژی: در فصلهایی از مجلد چهارم که مربوط به صنعت شیمی بود، متذکر شدیم که کوره‌هایی که با گرمای قوس برقی، یا عبور جریان برق از داخل تودهٔ مورد تصفیه کار می‌کنند، در چه زمانی و برای پاسخگویی به چه نیازی ساخته شدند. چندی نگذشت که فیزیکدانان به فکر کاربرد گرمای قوس برقی بمنظور گرم کردن کوره‌های آماده‌سازی کانیهای مورد نیاز فلزگری افتادند. نخستین اختراعی که در این باره به ثبت رسید گویا متعلق به آقای گوستاو سن آمان پیشون[1] در تاریخ ۱۸۵۳ است. این یک کاربرد ساده «نور برق»، مربوط به قوس بود که از آن در جهت آماده‌سازی کانیهای آهن استفاده می‌شد. چندین جفت الکترود زغالی در یک کوره روی یکدیگر چیده شده بودند و در بالای کوره، قیفی کار گذاشته شده بود که فروافتادن مخلوط آسیاشدهٔ کانیها و بارکوره را ممکن می‌ساخت. درصورت لزوم، به‌اندازهٔ ۱/۱۰۰ گرد زغال و کک، افزوده می‌شد. این به‌اصطلاح مین، زمانی‌که از میان این قوسهای مطبق برق می‌گذرد گویا به فلز تبدیل می‌شود. مؤلف، که ظاهراً دانش عمیقی از سیدرورژی (≈ آهنکاری) ندارد، بی‌شبهه دربارهٔ نحوهٔ تولید برق لازم جهت کار کوره‌اش هم فاقد اطلاعات لازم است: «هزار وسیله برای تولید برق وجود دارد.» درواقع هنوز هیچ وسیله‌ای که چنین کاربردی داشته باشد در آن زمان وجود نداشت. تعجب‌انگیزتر از همه این است که مؤلفان کارشناس آغاز سدهٔ ما از پیشگامی آقای پیشون به‌طور جدی یاد کرده‌اند و عده‌ای از آنها چنین گمان برده‌اند که این روش، اگر تغییراتی در آن داده شود، عملی است.

در ۲۲ مارس ۱۸۵۳، یک هفته پس از آقای پیشون، یک انگلیسی با نام آقای جانسون، اختراع کوره‌ای را که برپایه‌های مطمئنتری قرار داشت به‌ثبت رسانید که اجرای احیای کانیها، به شرایط کافی بودن منابع برق را، ممکن می‌ساخت. ترتیبات مشابهی سی سال پس از آن، بویژه توسط برادران کولز (امیل و یوجین) که در آینده از آنها سخن خواهیم گفت به‌کار برده شدند. آقای مانکتن[2] انگلیسی در سال ۱۸۶۲ روشی برای تهیهٔ فولاد در کوره‌های برقی پیشنهاد کرد. اما با وجود پیشرفتهایی که با ماشینهای الکترومغناطیسی به‌دست آمده بود، برق صنعتی هنوز کم بود.

عملاً چند سال پس از پیدایش دینام بود که نخستین کوره‌های صنعتی که از برق به‌عنوان وسیلهٔ گرم کردن استفاده می‌کردند به‌کار گرفته شدند. پس از آزمایشهایی که گویا دنبال نشد ـ از جمله آزمایشهای آقایان لین فاکس[3] و لونتن در ۱۸۷۸ ـ مؤسسه زیمنس ـ هالسکه بود که نخستین کوره‌های واقعاً قابل استفاده در متالورژی را در سال ۱۸۷۹ ساخت. این مؤسسهٔ آلمانی درواقع

1. G. Saint-Amand Pichon 2. Monckton 3. Lane Fox



شکل ۱۲.کورهٔ برقی زیمنس، ۱۸۷۹.
در سمت راست، سیستم تنظیم وضع الکترود بالایی دیده می‌شود. بازوی نوساندار، وزنه‌ای برای تعادل اولیهٔ الکترود حمل می‌کند. این بازو به استوانه‌ای از آهن نرم متصل است که داخل سولنوئید قرار دارد. تغییر شدت جریان موازی، استوانه را جابه‌جا می‌کند، در سمت چپ، الکترود پایین آمده است.

راه‌حلهای متعددی را برای ساخت کوره‌های با گرمای برق، بررسی کرده بود و همهٔ اختراعات دیگر برپایهٔ آنها قرار داشتند.

نخستین کوره برقی که خود زیمنس سازندهٔ آن بود بوته‌ای از خاک نسوز داشت که در کف آن الکترودی کار گذاشته شده بود (شکل ۱۲). الکترود دیگر که از درپوش آن می‌گذشت، از بازوی نوسانداری آویزان بود که سر دیگر آن به یک وسیلهٔ تنظیم جریان قوس برقی اتصال داشت. جابه‌جا شدن استوانه‌ای از آهن نرم در یک سولنوئید (مغناطیس پیستونی یا سیملوله)، سبب تغییر شدت جریان می‌باشد. در مدل دیگری از کوره، الکترود بالایی بوسیلهٔ جریانی از آب خنک می‌شد. این وسیله را در نوع سومی از کوره مورد استفاده قرار دادند که در آن هر دو الکترود، به‌طور افقی از دیوارهٔ بوته می‌گذشتند.

گرچه وسیلهٔ اخیر در آغاز کاربرد عملی نیافت، هر دو کورهٔ اولی برای ذوب فلزات و بویژه فولاد بمنظور خالص‌سازی آن، به‌طور مؤثری بکار گرفته شدند.

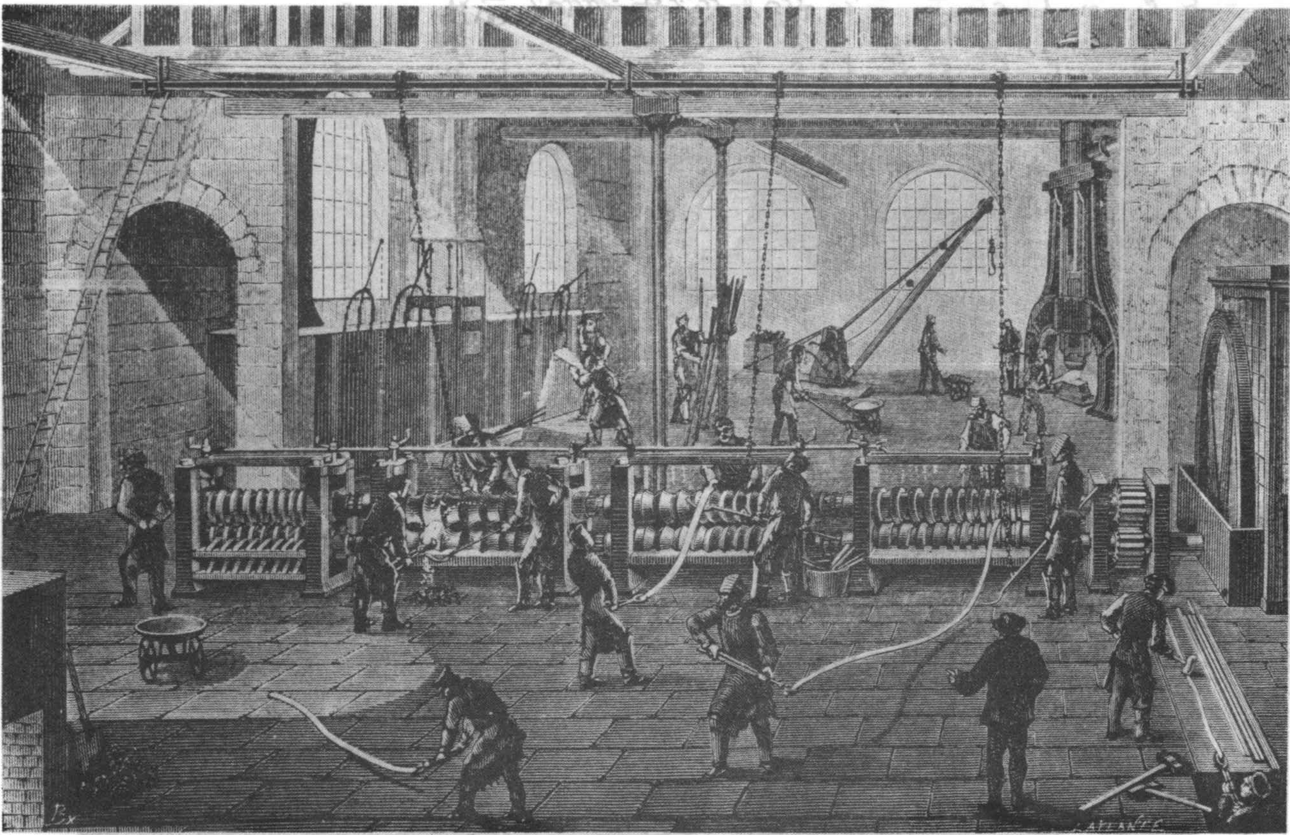
آلومینیم با روش شیمیایی: با این‌حال، در دهه‌های نخست، این کاربرد مورد توجه تکنسین‌ها واقع نشد، آنها استخراج آلومینیم را هدف قرار داده بودند. در آن زمان این فلز را با روش بسیار دشواری، که هانری سنت ـ کلردوویل در ۱۸۵۴ پیشنهاد کرده بود در کوره‌های بازتابی به‌دست می‌آوردند. مدت سی سال بود که به برکت کارهای آقای ولر، شیمیدان آلمانی این فلز شناخته شده بود، وی با فعل و انفعال پتاسیم بر روی کلریدآلومینیم توانسته بود آن را جدا کند. آقایان بونزن و سنت ـ کلردوویل نیز هریک به نوبهٔ خود، اما در یک سال، ۱۸۵۴، توانستند با الکترولیز محلولی ازکلرید مضاعف سدیم و آلومینیم آن را به‌دست آورند. اما جریان برق هنوز بسیار گران بود و بازده به‌شکل محلول آبی، کمتر از آن بود که بشود با این روش برای تولید صنعتی آلومینیم اقدام کرد.

بنا به دلایل بالا، شیمیدان فرانسوی به واکنش با یک فلز قلیایی روی آورد و سدیم را، بدلیل تهیهٔ آسان آن، برگزید. وی باز ازکلرید مضاعف استفاده کرد، اما مقداری کریولیت، فلوئورید مضاعف آلومینیم و سدیم بدان افزود تا ذوب آن آسان شود. کریولیت یک جسم طبیعی است که در آن زمان ازگروئنلند وارد می‌شد. اما می‌بایست کلرید را با گرم کردن آلومین، نمک دریا و قطران، که کربن آن آلومین را تجزیه می‌کرد، در مجاورت کلر به‌دست آورد. این کلرید مضاعف تبخیر و در ظرفی که آستری لعابی داشت جمع می‌شد؛ سپس درکورهٔ بازتابی همراه با کریولیت و سدیم عمل آورده می‌شد. آلومینیم را با شست‌وشو با آب از تودهٔ نمکی که دور فلز حلقه بسته است جدا، و در شمشهای کوچکی ذوب می‌کنند.

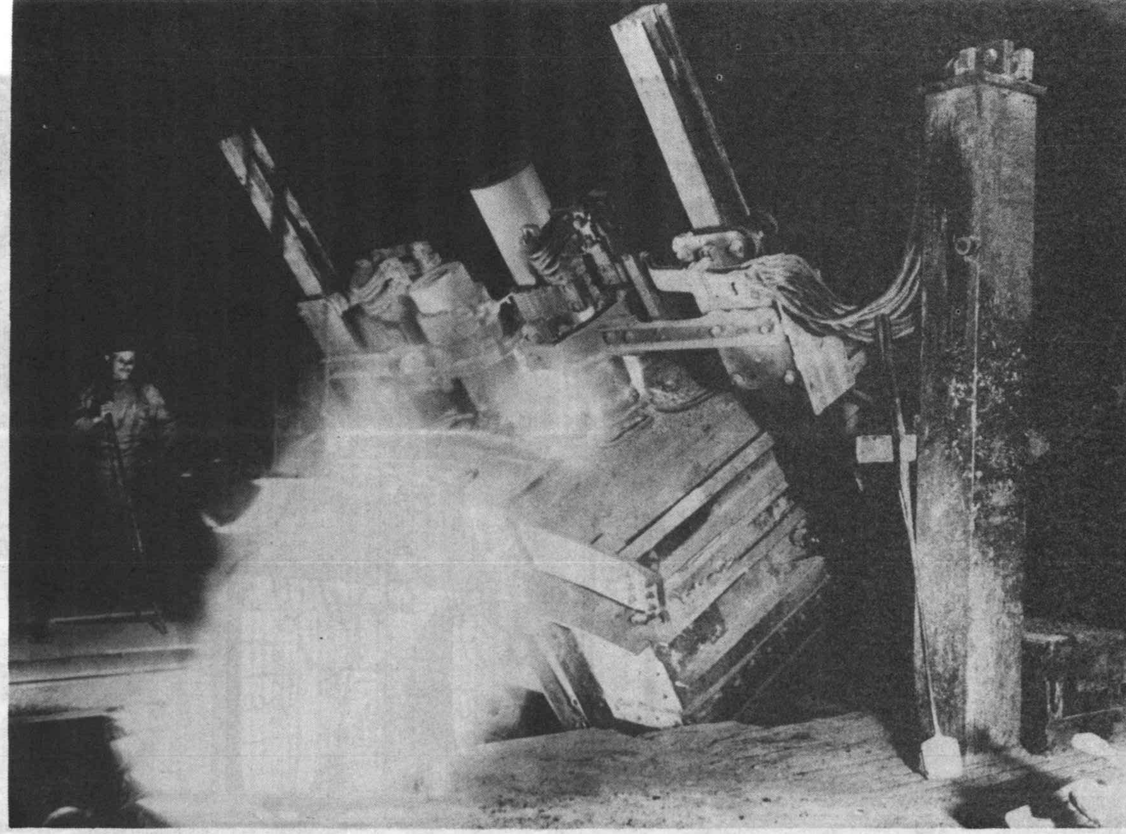
با همهٔ این عملیات طویل و دراز، تنها چند کیلو آلومینیم به‌دست می‌آمد. این فلز جدید در نمایشگاه سال ۱۸۵۵ ارائه شد و یکی از چندین نوآوریهای جالب جهانی بود. بهای فروش آن بسیار بالا و به ازاء هرکیلوگرم ۱۲۵۰ فرانک بود و چون خراب ناشدنی می‌نمود در ساختن جواهرات بدلی از آن استفاده شد.

ناپلئون سوم که بسیار آسان دربرابر دانشمندان نقش حامی علم و دانش را ایفا می‌کرد در کارهای سنت ـ کلردوویل شخصاً سرمایه‌گذاری کرده بود. یک کارخانه در ژاول[1] برپا شد. که تا زمان پیدایش روشهای الکتروشیمیایی، ازاین روش برای تولید آلومینیم استفاده می‌کرد، و نیز کارخانهٔ دیگری در ساسکس به‌وجود آمد. بعدها، کارگاههایی در انگلیس، بوسیلهٔ کاستنر تأسیس شدند که با روشی که از آن وی و آقای سن. ناتو[2] بود، برپایهٔ تجزیه کریولیت بوسیله سدیم، سدیم تهیه می‌کردند. اما این کارگاهها فعالیت بسیار محدودی داشتند، زیرا در آن زمان به پیشرفت کوششهای مربوط به تولید آلومینیم به کمک برق توجه می‌شد.

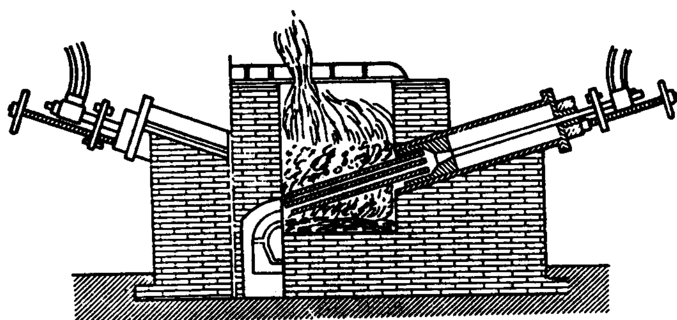
1. Javel 2. C. Nato



تابلوی ۳. کارگاه نورد (حدود ۱۸۷۰).



تابلوی ۴. کوره برقی سیدرورژی (۱۹۲۴).



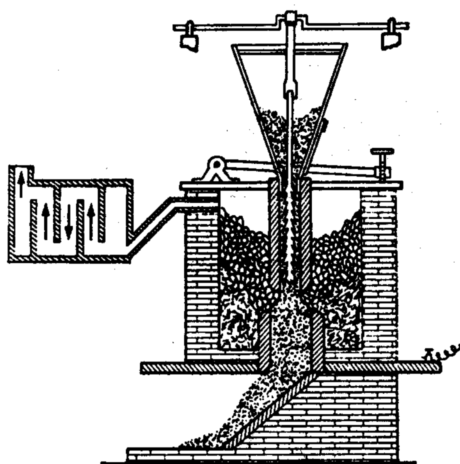
شکل ۱۳.کورهٔ برقی کولز (Cowles)، ۱۸۸۱.وضع دو الکترود را می‌توان در جهت میل آنها تنظیم کرد.

چاره‌کاری الکترولیزی آلومین: درطی دههٔ ۱۸۸۰ این کوششها واقعاً چند جانبه بودند. بیشتر آنها بمنظور تهیهٔ آلومینیم خالص، که کاربردی برای آن نداشتند و هنوز چنین می‌نمود که هزینهٔ تولید آن بسیار بالاست، انجام نمی‌گرفتند، بلکه هدف، تهیهٔ آلیاژهای آلومینیم و بویژه مفرغها بود. برادران یوجین و امیل‌کولز، در آغاز برای احیای کانیهای روی، دست به‌کار شدند و سپس احیای آلومین را هدف گرفتند. در سالهای ۱۸۸۵ـ۱۸۸۷ سه نوع کوره ساختند که از نظر شکل اجاق و ترتیب الکترودها با یکدیگر تفاوتهای زیادی داشتند (شکل ۱۳). سومین کورهٔ آنها برای کار پیوسته، طرحریزی شده بود، الکترودی قیف‌مانند برای دریافت بار کوره، و پیچی که ارتفاع آن را تنظیم می‌کرد داشت (شکل ۱۴). این کوره‌ها در انگلستان تا مدتها فعال بودند و گمان می‌رود که نخستین وسیلهٔ صنعتی مهم ازنظر استفادهٔ زیاد از گرمای برق بودند.

آقای آدولف مینه[1] در فرانسه نیز در همان ایام (۱۸۸۷ـ۱۸۸۸) کارهایی کرد و کوره‌هایی را با یک الکترود منفی (کاتد) طرحریزی کرد که روی بوتهٔ زغالی کوچکی خم شده بود و آلومینیم درون این بوته جمع می‌شد. کل این دستگاه با آند آن در استوانه‌ای که محتوی الکترولیت بود شناور می‌شد و آتشدانی خارجی آن راگرم می‌کرد. جریان برق تنها برای مذاب نگاهداشتن حمام و تجزیهٔ فلوئوریدهای مضاعف آلومینیم و سدیم بود. به این حمام مقداری کلرید و فلوئورید قلیایی می‌افزودند تا ذوب جرم آسان و سیالیت حمام افزوده شود. کوره‌های دیگر آقای مینه[2] برای گرم شدن، تنها از عبور جریان برق استفاده می‌کردند. هیچ‌یک از این کوره‌ها درخور صنعت نبودند.

اما روشهای پل ارو[3] در فرانسه و چارلز مارتین هال[4] در امریکا سرنوشت بهتری داشتند. هرچند

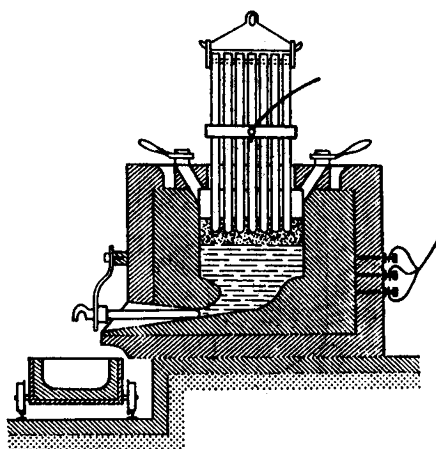
1. A. Minet 2. A. Minet 3. P. He'rault 4. Ch. M. Hall



شکل ۱۴.کورهٔ برقی کولز، ۱۸۸۷.
الکترود مثبت، یک لولهٔ زغالی است که در قاعدهٔ قیف تغذیه تثبیت شده است. الکترود منفی نیز یک لولهٔ زغالی است که به صفحهٔ بخش پایینی کوره تثبیت‌شده است.

که این دو شخص با یکدیگر آشنا نبودند، کنجکاوی مقدر آنان، هر دو را در یک مسیر انداخته بود. آنان درواقع هر دو در ۱۸۶۳ تولد یافته بودند و نخستین اختراع خود دربارهٔ جداسازی آلومینیم را در ۱۸۸۶ به‌ثبت رسانیدند؛ ارو، در آوریل؛ و هال، در ژوئیه؛ و عملاً هم این و هم آن، پایگاه راه‌اندازی این صنعت جدید شدند؛ و نیز هر دو نفر در ۱۹۱۴ فوت کردند. چنانچه این داستانهای مربوط به شرح‌حال‌نویسی را کنار بگذاریم باید یکسانی روش آنها را بنمایانیم. آنان همانند کاری که آقای مینه در این دوران انجام داد به الکترولیز مذاب یا «ذوب آتشی» دست زدند. این اصطلاح تازه که در فرهنگ صنعتی از قدیم مانده است برای روشنترکردن تفاوت آن با روش الکترولیز آبی پذیرفته شده است. درواقع، محلولی از آلومین درکریولیت مذاب بود.

از مدتها پیش، فلوئورید مضاعف را، به طوری که دیدیم، برای جداسازی آلومینیم به‌کار می‌گرفتند. آقای ارو پس از اینکه مدتی بیهوده به الکترولیز محلول آبی دست زده بود به الکترولیز مذاب آن روی آورد. وی استفاده از آلومین را پیش کشید، زیرا متوجه شد که آند زغالی در حمام ذوب، که گمان می‌برد مخلوطی از کلریدهاست، فرسوده می‌شود. کلریدآلومینیم مصرفی وی درحقیقت

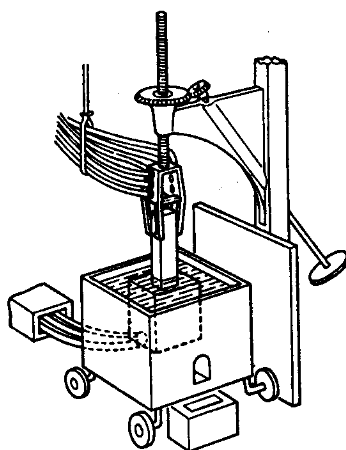


شکل ۱۵.کورهٔ نخست استوانه‌ای صنعتی ارو، برای استخراج آلومینیم.
کاتد، قطعه زغالی است که در یک استوانهٔ چدنی جای دارد. آند دسته‌ای از میله‌های زغالی است که در جرم مذاب شناور است. در قسمت بالا، در هر دو سوی، دریچه‌های بارگیری و خروج گازها دیده می‌شود. در پایین سمت چپ، سوراخ بارگیری آلومینیم مذاب است.

آلومینی بود که در زمان انبارداری به دنبال تجزیهٔ کلرید در اثر رطوبت جو، تشکیل شده بود. ارو همچنین آلومین قرمز، بوکسیت، را برگزید زیرا برخلاف آلومین سفید، عاری از سیلیس است. آهن، در نقش ناخالصی مزاحمتی ندارد. سرانجام، این مخلوط ذوب شده آلومین ـ کریولیت از آلومینیم سبکتر است، بنابراین آلومینیم در زیر قرار می‌گیرد. نخستین آزمایشها در یک دیگ چدنی، که کاتد دستگاه بود، انجام گرفت و آند زغالی که در سر یک میل‌پیچ ثابت شده بود در دیگ شناور بود و وضع آن را می‌شد با نوعی چرخدنده تنظیم کرد. کورهٔ اول صنعتی وی، شکل سنجیده‌تری داشت، اما از همان اصل ساختمانی دور نشده بود. برای افزایش توان آند، دسته میله‌های زغالی آن‌که با انبری، تنگ یکدیگر قرار داشتند و انبر به سیستم تنظیم ارتفاع وصل بود، بالا و پایین می‌رفت. در بالای دستگاه دو سوراخ تغذیه وجود داشت، اما در پایین دستگاه، یک سوراخ برای ریخته‌گری (شکل ۱۵).

این روش در سال ۱۸۸۸ در ناحیهٔ فروژ[1] واقع در ایزر به بهره‌برداری رسید (شکل ۱۶). آقای

1. Froges



شکل ۱۶.کورهٔ ارو در ناحیهٔ فروژ، ۱۸۸۸.
کاتد تشتی چدنی است که آستری ازگرافیت دارد. آند، میله‌ای از زغال است که به توسط چرخدنده خاصی، تنظیم عمودی آن تأمین شده است؛ کارگری که در پشت یک صفحهٔ محافظ ایستاده است، مسؤول تنظیم آند است.

ارو در این فاصلهٔ زمانی بر اثر راهنمایی پچینی توانست به ساخت مفرغ آلومینیم دست یابد. آقای پچینی به وی گفته بود که «آلومینیم، فلزی با کاربرد محدود است و برای ساخت لوله‌های دوربین دو چشمی کوچک مصرف می‌شود، و هر کیلوگرم آن را شما، ۱۰ یا حداکثر ۱۰۰ فرانک خواهید فروخت، اما حداکثر فروش آن، تنها یک کیلوگرم است. چنانچه مفرغ آلومینیم تولید کنید، این، وضع دیگری دارد . . .» بنابراین آقای ارو به تولید مفرغ و نیز آلومینیم روی آورد. وی کوره‌های گوناگونی طرح کرد که مناسب ساخت این یا آن فراورده بودند. همهٔ این کوره‌ها، شکلهای ساده و طرز کار آسانی داشتند. کارخانهٔ فروژ تا ۱۸۹۳ فعال بود و از آن پس به ناحیهٔ لاپرا[1] واقع در ساووا منتقل شد. در همان سال اول، بهره‌برداری ازاین روش در سویس، در نوی‌هاوزن[2]، سپس در اسکاتلند، در فوایه[3] با اجازه آقای ارو شروع شد.

سادگی این روش گرچه آشکار بود، عملیات شیمیایی پیش از آغاز کار، برای استخراج آلومین از بوکسیت لازم بود. این عملیات را اساساً آقای بل[4] مورد مطالعه و تحقیق قرار داد. بعدها، حدود

1. La Praz 2. Neuhausen 3. Foyers 4. Bayle

۱۹۱۰ که بهای کریولیت طبیعی پیوسته بالا رفت (زیرا تنها رگه ایویتود[1] واقع درگروئنلند (دانمارک) شناخته شده بود) به ساخت شیمیایی آن دست زدند.

روش هال، که به‌روش ارو بسیار شبیه بود، تقریباً در همان زمان در ناحیهٔ نیوکنزینگتن در نزدیکی پیتسبورگ به مرحلهٔ بهره‌برداری رسید. حمام مذاب، علاوه‌بر کریولیت، دارای فلوئوریدهای آلومینیم و کلسیم بود. نخستین کوره‌ای که هال ساخت از بیرون گرم می‌شد. تشت آن نقش کاتد را داشت و آند، یک صفحهٔ زغالی بود. در راه‌حل دیگری، هردو الکترود در تشت واکنش، که به جریان برق وصل نبود، شناور بودند. اما هال سریعاً به طرح کوره‌هایی رسید که مانند کوره‌های ارو برپایهٔ اصل اولیه کورهٔ زیمنس، با آند قابل تنظیم ساخته می‌شدند. در آغاز کار، بوکسیت از فرانسه وارد می‌شد و فرانسه تا مدتها نخستین کشور تولیدکنندهٔ آلومین بود. همچنین از یک رگه آلومین آبدار، گیبسیت استفاده شد. در ۱۸۹۸ شرکت Pittsburg Reduction Co دوکارخانه نزدیک آبشار نیاگارا در زمینهای شرکت تولیدی انرژی هیدرولیک برپا داشت، این کار به آن امکان می‌داد که از یک منبع انرژی ارزانتر از ماشین بخار بهره گیرد.

موفقیت آلومینیم: آلومینیم فلزی علی‌رغم پیش‌بینیهای آقای پچینی، بسرعت کاربرد یافت و تکنسین‌های متعددی برای تهیهٔ آن شیوه‌های گوناگونی اندیشیدند. آقای ویلسن در سال ۱۸۹۰ برای احیای آلومین، یک گاز احیاکننده را از میان یک آند لوله‌ای می‌گذرانید و مفرغ آلومینیم به‌دست می‌آورد؛ آقایان شنلر[2] و آستفلک[3] نیز در همان سال برای احیای نمکی از آلومینیم: سولفید و کلرید یا فلوئورید آن به کمک جریان گازی می‌کوشیدند. آقای ا. گوچ در ۱۸۹۹ روش بسیار پیچیده‌ای اندیشید که برپایهٔ تبدیل آلومین به سولفید به توسط جریانی از سولفید در بوته و الکترولیز سولفید آلومینیم بود. در همان سال آقای هاورتمان[4] برای الکترولیز آلومین کوره‌ای طرح کرد که به توسط گاز در اتاقکی که بوته را احاطه کرده بود گرم می‌شد. در سال ۱۹۰۱ آقایان تاک[5] و مودی[6] درپی احیای آلومین بوسیله مخلوطی از آهک و زغال بودند. کارهای فراوان دیگری نیز شد اما هیچکدام مانند روشهای ارو و هال به بهره‌برداری صنعتی نیانجامیدند.

در پایان سدهٔ نوزدهم تولید آلومینیم از راه الکترولیز، پیشرفت خوبی کرده بود. در فاصلهٔ زمانی ۱۸۵۵ـ۱۸۶۶ بهای هرکیلوگرم آلومینیم به‌علت گسترش استخراج شیمیایی، به ۱۲۵ فرانک تقلیل یافت. در سال ۱۸۸۶، زمانی‌که روشهای الکترولیزی، هنوز به بهره‌برداری نرسیده بود، بهای هر کیلوگرم آن تا ۷۵ فرانک پایین آمد. از آن پس استفاده از برق، سبب کاهشهای سریع قیمت آن شد:

1. Ivigtut 2. Schneller 3. Astfalck 4. C. Haurtmann 5. Tuck 6. Moody

۱۹ فرانک در ۱۸۹۰؛ ۷/۵ فرانک در ۱۸۹۲؛ ۳/۱۰ فرانک در ۱۸۹۸ و بالاخره ۲/۵ فرانک در سال ۱۹۰۰. در سال ۱۹۰۸ بهره‌گیری از اختراعات ارو، بهای آلومینیم را به کمتر از دو فرانک رسانید. آشکار است که تولید آلومینیم، برخلاف بهای آن، یک سیر صعودی داشته است: ۱۲ تن در ۱۸۵۵؛ ۵۰۰۰ تن در ۱۹۰۰؛ ۷۸۰۰۰ تن در پیش از جنگ جهانی اول؛ ۱۷۳۰۰۰ تن در سال ۱۹۲۳. کشور سویس که از بهترین تجهیزات برقی برخوردار بود تا سال ۱۸۹۰ نخستین مقام را در تولید آلومینیم داشت و بعدها، ممالک متحدهٔ امریکا، سپس فرانسه آن را پشت سر گذاردند. فرانسه که تا جنگ جهانی اول، در سایهٔ اهمیت صادراتش، بازار جهانی آلومینیم را در دست داشت، تا جنگ جهانی دوم، نخستین کشور تولیدکنندهٔ بوکسیت باقی ماند. چون احساس می‌شد که بوکسیت رو به اتمام است، آقای پچینی، بعداً روشی را پیشنهاد کرد که استخراج آلومین را از خاک رس و شیست ممکن می‌ساخت و همچون ذخیره‌ای نگاهداشته می‌شد.

پیشرفت (الکترومتالورژی): راه‌اندازی صنعت آلومینیم سبب ایجاد تجهیزات هیدروالکتریکی مهمی شد. برای بهره‌گیری از انرژی اضافی موجود، تولیدهای الکترومتالورژیکی دیگری پس از اندک مدتی به تولید آلومینیم افزوده شدند. همراه با تهیهٔ مفرغ آلومینیم و فروآلومینیم، یکی از فلزاتی که از راه الکترولیز تهیه شد، منیزیم بود که آلیاژهای آن با آلومینیم و بعدها با فلزات دیگر، گسترش فراوان یافت. این تولید، در محدودهٔ بسیار کم در آلمان در بیترفلت[1]، اواخر سدهٔ نوزدهم، با روش الکترولیز کارنالیت در دستگاهی که آقای گرتسل[2] طرح کرده بود آغاز شد. تشت چدنی، کاتد دستگاه بود و آند در ظرفی متخلخل که در میان تشت قرار داشت شناور بود. این ظرف، لوله‌ای برای خارج شدن کلر به طرف بالای لوله‌ای که حامل آند بود و نیز لوله‌هایی برای برقراری جریان گاز احیا کننده از بالای جرم در حال ذوب، برای جلوگیری از اکسایش منیزیمی بود که تشکیل می‌شود.

در سالهای اولیه تولید، فلز منیزیم تقریباً هیچ کاربردی نداشت و تنها برای تولید نور مصنوعی جهت عکسبرداریهای فوری به‌کار گرفته می‌شد. نخستین آلیاژهای آن با آلومینیم، منیالیم[3] در ۱۹۰۰ ساخته شد، سپس در ۱۹۰۸ آلیاژ دورالومین، که فوراً در ساخت بدنهٔ بالونهای هدایت شونده زپلین به خدمت گرفته شد. تهیهٔ الکترولیزی منیزیم، پس از جنگ جهانی اول، برای پاسخگویی به نیازهای ساخت هواپیماها، اهمیت یافت.

در سال ۱۹۰۲ تهیه کلسیم فلزی شروع شد، در همان دوران، الکترولیز مذاب، استخراج فلزاتی که در آن زمان کاربردی نداشتند، نظیر بریلیم، را ممکن ساخته بود. این فلزات با همین شیوه بعدها به‌شکل آلیاژ تهیه شدند. در مورد الکتروشیمی دیده شد که چگونه این رشته با کارهای اساسی

1. Bitterfeld 2. Graetzel 3. Magnalium

کاستنر، روشهای تهیهٔ فلزات قلیایی را پایه گذارد (مجلد چهارم، صفحه ۷۴۸).

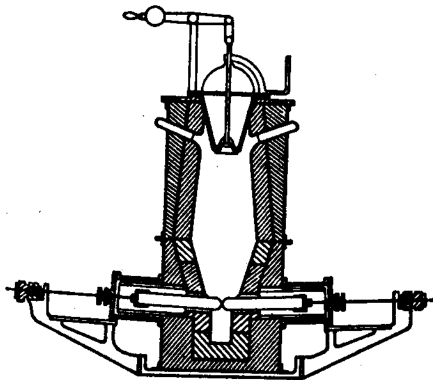
آلومینوترمی: پس از اینکه آلومینیم در اواخر سدهٔ نوزدهم رواج فراوان یافت، نخستین کاربرد مهم صنعتی آن، در نقش احیاکننده در تهیهٔ آهن و فولاد بود. بخش اساسی آلومینیمی که در سالهای ۱۸۹۰ تهیه می‌شد در این راه به‌کار می‌رفت. آقای هانس گلدشمیت[1] در اسن روشی برای گسترش آلومینوترمی جهت احیای اکسیدهای فلزاتی که بدشواری زیاد ذوب می‌شوند پایه گذارد. آقای اشتراوس[2] در اسن نیز بتازگی نشان داده بود که گرمای سوخت آلومینیم از همه عناصر دیگر شیمیایی، جز هیدروژن و کربن، بیشتر است. آقای گلدشمیت مشاهده کرد که آلومینیمی که با اکسیدهای فلزی مخلوط و مشتعل شود، اکسیدهای فلزی را تجزیه می‌کند و گرمای واکنش آنچنان بالاست که می‌تواند نه‌تنها آلومین تشکیل شده، بلکه فلزات دیگر همراه را هم ذوب و در ته بوته جمع کند؛ و با ریختن لایه به لایه، می‌توان آنها را از یکدیگر جدا ساخت.

برای آتش کردن آن از یک فشنگ اشتعال، که مخلوطی از گرد آلومینیم و پراکسید قلیایی یا قلیایی خاکی است همراه با نوار نازکی از منیزیم در آن، که با زدن کبریتی مشتعل می‌شود، می‌توان استفاده کرد. این روش گلدشمیت، پیش از هرچیز تهیه کروم و منگنز فلزی را ممکن ساخت، سپس آلیاژهای آهن، مس یا نیکل را با تیتان و نیز با بور، مس را با کروم و نیز با بریلیم. با روش آلومینوترمی، متالورژی از همان اوان ۱۹۰۰ مجهز به نوعی شیوهٔ کلی احیا شد که بسیار ساده بود و پس از مدت کوتاهی به رشته‌های دیگر فلزکاری، بویژه جوشکاری و لحیم‌کاری سرایت کرد.

عمل آلومینوترمی، نتیجه دیگری هم داشت. سرباره‌ای که در زمان واکنش ایجاد می‌شود، آلومین متبلوری به‌شکل کوروندوم مصنوعی سخت‌تر از کوروندوم طبیعی است زیرا محتوی درصد کمی اکسیدفلزی تصفیه شده است. کوروندوم مصنوعی را آسیا و صلایه کرده در ساخت وسایل سنگزنی و تیزکردن به‌کار می‌گیرند.

گرچه تهیهٔ صنعتی آلومینیم بی‌شبهه مهمترین نوآوری متالورژی بوسیله برق بود، تنها دستاورد به‌کارگیری برق نبود. در سال ۱۸۸۰ قوس برقی برای ذوب کردن فلزات دیرگداز، و لامپ خورشیدی که درگذشته از آن سخن گفتیم، در این تاریخ بوسیله آقای لویی کلرک، مخترع آن برای یک ردیف آزمایش روی این موضوع به‌کارگرفته شد. در همین زمان آقای بارکرس[3] آلمانی توانست در کوره‌ای که تقلیدی از کورهٔ مواسان بود، همهٔ اکسیدهای فلزی را، که احیا ناپذیر تلقی می‌شدند، احیا کند. آقای بارکرس همچنین کربیدهای فلزی را تهیه کرد و زمانی‌که کارهای مینه، ارو و هال جریان داشتند نوعی کورهٔ آزمایشی برای استخراج آلومینیم ساخت. در اینجا به کارهای مواسان، که در مجلد چهارم

1. Hans Goldschmidt 2. Strauss 3. Barchers

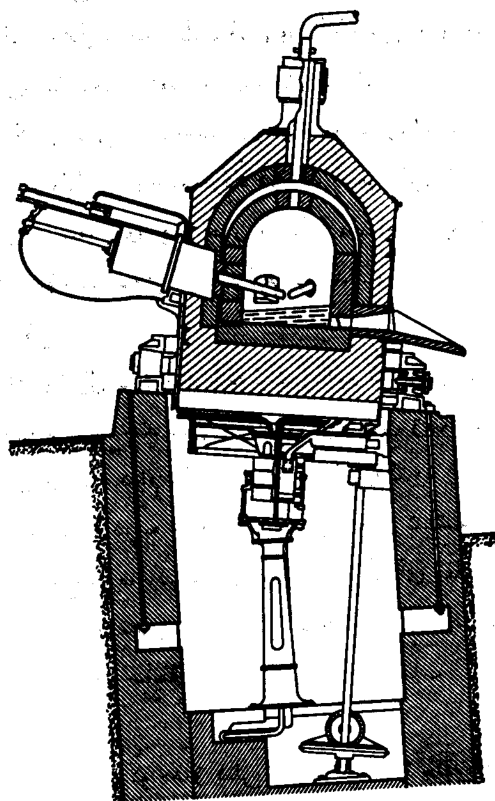


شکل ۱۷.کورهٔ برقی ثابت استاسانو (Stassano) برای تهیهٔ آهن و فولاد.

این مجموعه در قسمت کربیدکلسیم (صفحهٔ ۶۴۴) از آنها سخن گفته‌ایم باز نمی‌گردیم.

الکترو سیدرورژی: الکتروترمی (گرم کردن با برق) در آخرین سالهای سدهٔ نوزدهم در متالورژی بسرعت به‌کار گرفته شد. نخستین کورهٔ صنعتی قابل استفاده برای احیای کانیها را آقای استاسانو[1] ایتالیایی در ۱۸۹۸ طرح کرد و آن را در ناحیهٔ وال کامونیکا[2] بر پا داشت. این کوره مدل کوچکی از کورهٔ بلند بود. الکترودهای زغالی در قاعدهٔ مخروط پایینی، بالای بوته ایجاد قوس برقی می‌کردند (شکل ۱۷) این کوره با بریکتهایی تغذیه می‌شد که از مخلوط آسیاشدهٔ کانی و نیز زغال و مادهٔ گدازآور، که با قطران به هم چسبانیده شده بودند تشکیل می‌شد. کار ذوب و احیا در بخش اجاق کوره انجام می‌گرفت. این کوره در مرحلهٔ دوم کار خود، حرکتی چرخشی حول محوری داشت که برای تأمین مخلوط شدن فراروده‌هایی که در حین کار به آن داده می‌شد، کمی مایل بود (شکل ۱۸). دمیدن هوا تنها به توسط یک لولهٔ هوا که از بخش فوقانی می‌گذشت انجام می‌گرفت. آقای استاسانو، بعدها به کوره‌های خود اشکال گوناگونی داد و از نوع ثابت استفاده کرد.

1. Stassano 2. Val Camonica



شکل ۱۸.کورهٔ برقی چرخشی استاسانو، برای تهیهٔ فولاد.
الکترودها را جریانی از آب خنک می‌کند و یک سیستم هیدرولیکی (سمت چپ کوره) به الکترودها فرمان می‌دهد. در پشت، دریچه بارزنی به کوره قرار دارد و در سمت راست و پایین کوره، سوراخ بارگیری است.

تکنسین‌های دیگری، بر همین اساس، کوره‌هایی برای همین کار، تولید فولاد یا ذوب چدن بمنظور تولید فولاد، ساختند. در سال ۱۸۹۱ کورهٔ آقایان شا و الیس[1] با همان خصوصیات کوره‌های استاسانو، ساخته شد. این کوره‌ها چند سال بعد رواج یافتند. آقای روتنبورگ[2] در ۱۹۰۱ برای غنی‌سازی کانیهای مغناطیسی با جهت دادن دانه‌ها بوسیلهٔ الکترومغناطیسی که مخروط بارگیر را در بر می‌گرفت اقدام کرد. زغال از مخروط دیگری وارد کوره می‌شد و یک قوس برقی در نزدیکی سوراخهای مجاور خروج، کار احیا و ذوب فلز را انجام می‌داد.

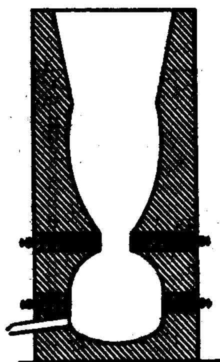
انواع کوره‌های دیگر از قوس برقی به‌عنوان وسیلهٔ گرم کردن، استفاده می‌کردند. بعضی از آنها را آقای ارو در ۱۹۰۱ در لاپرا[3] برای تولید فولاد در یک بسمر برقی کارگذاشته بود و دو سال بعد، شرکت الکترومتالورژی فرانسه، برای تهیهٔ چدن یا فولاد در ناحیهٔ فروژ این نوع کوره را برپا کرد. بعضی کوره‌های فروژ با مقاومت برقی در جرم گرم می‌شدند و براساس پدیدهٔ ژول عمل می‌کردند و بعضی نیز با قوس برقی.

در سال ۱۸۹۲ آقای لاوال کورهٔ خود را به ثبت رسانید که در آن جریان متناوب از جرم فلزی می‌گذشت و آن را ذوب می‌کرد. چند سال پس از او، کورهٔ آقای ژیرو[4] ساخته شد که به‌اندازهٔ کورهٔ ارو، که بسیار مشابه آن هم بود، دوام یافت. جرقه از میان الکترود زغالی بالا و جرم فولادی که باید تصفیه می‌شد می‌گذشت. در ته حمام یک الکترود فلزی گذاشته شده بود که با جریان آب خنک می‌شد. برتری این نوع کوره، ترکیب تأثیر قوس با تأثیر گرمای مقاومت برقی است. کورهٔ آقای شاپله[5] که در همان ایام ساخته شد بر همین پایه، اما با آرایشهای گوناگون الکترودها ساخته شد. این شخص در تهیهٔ فولادها نیز سابقهٔ زیادی داشت و اصلاحات متعددی را در این باره ابتکار کرده بود.

در ممالک متحدهٔ امریکا نیز کوره‌های کنلی[6] (۱۹۰۲) که با حلقه‌های مقاومی از گرافیت مداد و خاک رس گرم می‌شد رواجی یافت (شکل ۱۹). کمی بعد، ۱۹۰۳ـ۱۹۰۴ آقای گوستاو جین[7] که در ۱۸۹۷ نوعی کوره برقی، ویژه فولادسازی را به ثبت رسانیده بود نوع دیگری کوره طرح کرد که با مقاومت برقی، به‌شکل یک لولهٔ مارپیچی، گرم می‌شد: «نوعی لامپ روشنایی که افروزهٔ آن را جریانی از چدن در حالت ذوب تشکیل می‌داد». این کوره اگر می‌توانست جانشین کورهٔ مارتن شود و احتمالاً برای تهیهٔ فولادهای خاص به‌کار گرفته شود، ممکن بود بخت بزرگی داشته باشد.

در سال ۱۹۰۱، سیستمهای پیچیده‌ای مطرح شدند: واحدهای تولید چدن، مخلوط‌کنها و

1. Allis 2. Ruthenburg 3. La Praz 4. Girod 5. Chaplet 6. Conley 7. G. Gin

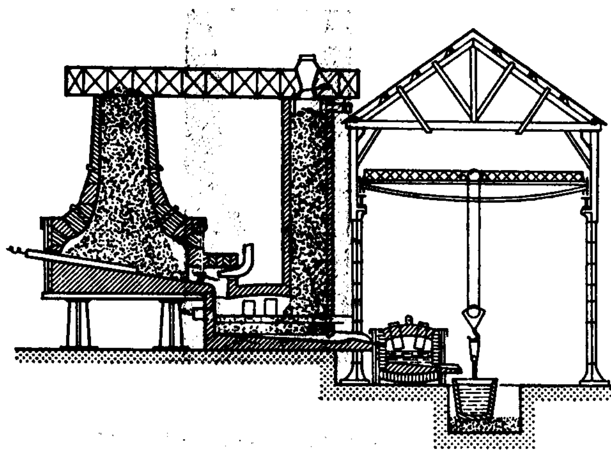


شکل ۱۹. کورهٔ برقی کنلی (Conley)، برای تهیهٔ آهن و فولاد.
گرم کردن این کوره با دو مقاومت برقی از گرافیت مداد است که به‌شکل حلقه‌هایی در سطوح مختلف کوره کار گذاشته شده‌اند.

واحدهای تصفیه‌ای که ردیفی کار می‌کردند، محصول تهیه شده، از سه مرحلهٔ تولیدی با بهره‌گیری از کفهای مایل می‌گذشت. سیستم آقای هارمیت[1] از طرحهایی بود که به‌نظر ما در آن زمان بسیار بلندپروازانه بود، اما به تأسیسات صنعتی کم و بیش موقتی انجامید و توجه معاصران را به خود جلب کرد.

تجهیزات این سیستم، شامل برجی برای ذوب کانیها، اکسیدهایی که با تشویه یا تکلیس به‌دست آمده‌اند، کورهٔ احیا، که از یکسو اکسیدها را برای ذوب شدن می‌پذیرد و از سوی دیگر، کک را. گازهای این کوره از برج پیش‌گفته شده بیرون می‌روند و برای گرم کردن کوره، بازیابی می‌شوند؛ می‌توان گفت یک «کورهٔ مارتن برقی» (شکل ۲۰). سیستم دیگری که آقای کلر متالورژ فرانسوی آن را طرح کرده بود، کورهٔ بلندی بود که با مقاومتهای برقی در خارج کوره گرم می‌شد، یک مخلوط‌کن، که چدن را با ضایعات مخلوط می‌کرد و بالاخره، یک کورهٔ تصفیه. آقای کلر در نخستین کارهای خود می‌پنداشت که می‌تواند اکسایش چدن را، صرفاً با گرم کردن برقی انجام دهد. اما ناچار شد این ادعا را پس بگیرد و به‌روش مارتن مراجعه کند. کورهٔ تصفیه مجهز به دو الکترود شناور در جرم مذاب بود. این مخترع که یک شرکت صنعتی پشتوان وی بود توانست از سیستم خود واقع در ناحیهٔ لیوه[2] واقع در ایزر، تأسیسات کاملی برپا سازد. این کارخانه در آن زمان، تجهیزات الکترومتالورژی

1. Harmet 2. Livet



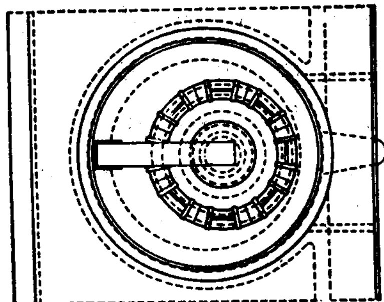
شکل ۲۰.مجتمع کوره‌های برقی هارمیت(Harmet)، برای تهیهٔ آهن و فولاد (۱۹۰۰ـ۱۹۰۲).
سمت چپ: برج ذوب کانیها با الکترودهایی در کف کوره. در وسط: کورهٔ احیای اکسیدها با ستون پر از کک؛ گازها از برج ذوب، سمت چپ، فرار می‌کنند. سمت راست: کورهٔ مارتن برقی که از مجرای بالایی، چدن در آن وارد می‌شود. سمت راست آن، بارریز دیده می‌شود.

پیش افتاده‌ای داشت که بی‌شبهه ظرفیت زیادی برای پذیرش سرمایه‌گذاریهای نوین در آن فراهم می‌کرد. روش کلر بعدها به‌سوی تهیهٔ فولاد از «چدن سنتزی» به‌شیوه کربن‌دهی مجدد ترکیب ثابت و تولید فولاد متحول شد. کورهٔ بلند برقی بسرعت کنار گذارده شد.

کوشش شد که تعدادی از نوآوریهای این چند سال یادآوری شود. چنین می‌نماید که این نوآوریها هیچ زنجیره‌ای از کارهای عملی در تکنولوژی جدید با خود نیاوردند، زیرا نمونه‌ای از دودلیهای تکنسین‌های آگاهی بودند، که بدلیل در اختیار داشتن وسایل کار، دربرابر چشم‌اندازهای نوینی قرار گرفته بودند، که در این مورد برق صنعتی متناوب و چند فاز بود که باید همهٔ امکانات واقعاً مؤثر کاربردی آنها را بررسی می‌کردند.

در همین دوره روش گرم کردن با برق به‌استفاده از جریانهای القایی گرایش یافت. روشی، که آقای فرانتی[1] در سال ۱۸۸۷ آن را به ثبت رسانید. در این روش با گذرانیدن جریان متناوب در قرقرهٔ راه‌اندازی که درکوره کارگذاشته شده است. درون توده‌ای که باید گرم و ذوب شود ایجاد جریانهای فوکو (گردابی) خواهد شد. نخستین کاربرد صنعتی این روش گرم کردن را آقای کلین[2] سوئدی در

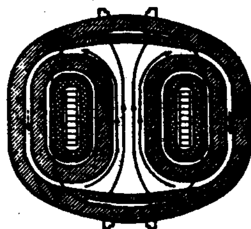
1. Ferranti 2. Kjellin



شکل ۲۱.کورهٔ القایی گیزینگ (Gysing)، سیستم کلین ـ بندیکس (Benedicks)، ۱۸۹۹.
این کوره مخصوص ذوب‌آهن و فولاد است. برش افقی. ساختمانی شبیه یک ترانسفورماتور دارد. سیم‌پیچ ورودی، قرقره‌ای از سیم مسی با هسته‌ای از آهن نرم است، که در وسط ظرف گذاشته شده و با فشار قوی تغذیه می‌شود. خروجی آن جرم مذابی است که در ظرف حلقوی قرار دارد. سمت راست مجرای باررېزی.

۱۸۹۹ انجام داد و پس از قدری کارهای آزمایشی، کوره به‌طور رضایتبخشی به تولید فولادهای ویژه و آلیاژی با فلزات مختلف،کروم، منگنز، تنگستن، مولیبدن پرداخت (شکل ۲۱). انواع دیگری بسرعت راه‌اندازی شدند که از آن میان می‌توان بویژه از کورهٔ آقایان روشلینگ ـ رودنهاوزر (۱۹۰۶) نام برد (شکل ۲۲).

این دو کوره تقریباً بر یک اصل بنا شده بودند. هسته‌ای از آهن نرم را، سیم‌پیچی که نقش بوبین ترانسفورماتور کاهندهٔ ولتاژ را داشت، در بر گرفته بود. این دستگاه در یک ناودانی گرد قرار



شکل ۲۲.کورهٔ مقاومتی و القایی روشلینگ ـ رودنهاوزر (Röchling-Rodenhauser)(برش افقی).
با همان اصل کورهٔ پیش کار می‌کند، اما دو قرقره ورودی و دو ظرف ذوب دارد.

داشت که فولاد در آن گذاشته شده بود و نقش یک بوبین تک مارپیچ را بازی می‌کرد و جریان القایی در آن پدید می‌آمد. در کورهٔ روشلینگ ـ رودنهاوزر همزمان از گرمای مقاومت برقی و گرمای القا بهره‌گیری می‌شد. کوره‌های القایی، بویژه پس از جنگ جهانی اول رواج یافتند.

خالص کردن و استخراج با الکترولیز: سرانجام می‌توان گفت که آخرین کاربرد برق ـ که در خالص کردن فلزات ناآهنی اهمیت کمتری ندارد، روش الکترولیز در محلول آبی بود. تکنیکهای گالوانو پلاستی سالهای ۱۸۳۰ـ۱۸۴۰ این امید را پدید آورد که این نوع تصفیه کردن در زمانی‌که برق صنعتی به قیمت ارزان در دسترس خواهد بود رواج خواهد یافت. در سال ۱۸۶۵ آقای جیمز بلنی الکینگتن[1] انگلیسی در مورد تصفیهٔ الکترولیزی مس، امتیازی را به ثبت رسانید. چندین صفحهٔ مس خام، آند یک ظرف الکترولیز را تشکیل می‌دادند و صفحات نازکی از مس خالص که به‌شکل مارپیچ پیچیده شده بودند بین صفحات پیشین جا داده می‌شدند. الکترولیت این دستگاه، سولفات مس بود. ظرفها را می‌شد تا ۲۵ عدد به‌طور ردیفی روی هم قرار داد. آقای الکینگتن کمی بعد کاتدهای مسی را با صفحات گوتا پرکا که با گرد مفرغ آغشته شده بودند، تعویض کرد. روش وی امکان بازیابی فلزات همراه، مانند طلا و نقره را فراهم می‌ساخت.

این دستگاه بر روی هم چیده شده آقای الکینگتن را ماشینهای الکترومغناطیسی تغذیه می‌کردند. این دستگاه زمانی از نظر اقتصادی قابل استفاده شد که ژنراتورهای صنعتی در دسترس قرار گرفتند. نخستین کارگاه تصفیهٔ الکترولیزی مس در سال ۱۸۹۲، تنها در ممالک متحدهٔ امریکا راه‌اندازی شد. این روش بسرعت برای فلزات دیگری مانند نیکل، آنتیموان، کادمیم و روی مورد استفاده قرار گرفت.

با آغاز سدهٔ بیستم به استخراج مستقیم مس با روش الکترولیز روی آوردند. بعضی روشها از همان کانیها شروع می‌شد، مثلاً آنتیموان، که سولفید آن در سولفیدهای قلیاها حل می‌شد و با الکترولیز مذاب به‌دست می‌آمد؛ یا کانیهای تشویه شده که اکسیدها برای اینکه فراورده‌های محلول در آب بدهند، عمل آورده می‌شدند، مثل روی؛ یا در محلولهای نمک برای مس، روی یا کادمیم. از این زمان به بعد، تصفیهٔ الکترولیزی فراورده‌های متالورژیک پیوسته پیشرفت داشته است.

مثلاً در مورد روی، روش استخراج آن را مدیون آقای هویفنر[2] هستیم که در ۱۹۱۳ صنعتی شد. روش الکترولیزی در ۱۹۰۳ حدود ۴۰۰۰۰۰ تن فراورده داشت که ۲۰٪ تولید جهانی بود. روی الکترولیزی، که خالصتر از رویی است که به‌روش تقطیر به‌دست می‌آید، مورد عنایت خاصی برای ساخت برنج سفید بود. دربارهٔ مس باید گفت که استخراج الکترولیزی آن، کمی پیش از آغاز

1. James Balleny Elkington 2. Höpfner

جنگ جهانی اول در لهستان در کلتسه[1] (واقع در جنوب شهر ورشو)، بوسیلهٔ آقایان استوگر[2] و لاستینسکی[3]، و نیز در سیبری آغاز شد. مقدار تولید آن در آن زمان بسیار کم بود. موقعیت جنگی سبب شد که روش الکترولیزی آن در شیلی، پس از گذشت اندک مدتی پذیرفته شود. بعدها این روش در مقیاس زیاد در ممالک متحدهٔ امریکا و نیز در کاتانگا (در جنوب کشور زئیر) به‌کار گرفته شد.

1. Kielce 2. Stöger 3. Lasczynski

۳

متالورژی نوین

نوآوریهایی که ساختار تکنیک متالورژی را از حیث استخراج فلزات و شکل دادن فراورده‌های کالایی، درگذر سه یا چهار دههٔ پایانی سدهٔ نوزدهم متحول کردند مجموعه‌ای از وسایل مکمل یکدیگر بودند. این مجموعه حدود نیم‌سده پیشرفت داشته است، البته در این ارزیابی پایه‌های اساسی این تکنیک ملحوظ نشده است و منظور هم این نیست که این ساختارهای جدید، چون از ساختارهای سنتی میراث سده‌های پیش به‌طورکامل بریده‌اند خصلت کلاسیکی دارند و آن‌طور که نویسندگان معاصر عقیده دارند آنها بتوانند موقعیتی را مشخص سازند که مدتها دوام خواهد آورد. با این همه، اگر منظرهٔ کنونی این زمینهٔ فعالیت صنعتی را با چشم‌انداز آن در آغاز سدهٔ بیستم مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که این تحول هنوز هم ادامه دارد، گرچه نمی‌توان حوادث تاریخی مشخص‌کنندهٔ ورود به مرحله تکنولوژی را تعیین کرد. این تحول با آهنگ همواره پرشتابی ادامه داشته است. اکثر عواملی که پس از جنگ جهانی دوم به این تحول سریع، که مشخص‌کنندهٔ نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم است، کمک کرده‌اند در دوره‌های مختلفی پدید آمده‌اند و بعضی از آنها ریشه در سدهٔ نوزدهم دارند.

این عوامل متعدد هستند و در محدودهٔ این اثر، تحلیل تفصیلی آنها کار دشواری است. وانگهی

هیچ‌کدام با پدید آوردن پیاپی دورانهای تازهٔ تکنولوژیکی، جنبهٔ تحمیلی سریع نداشتند؛ چیزی که درگذشته درمورد کوره‌های بلند کک‌سوز، روشهای تبدیل مستقیم چدن به فولاد و الکترومتالورژی نیز مصداق داشته است. نوآوریها را می‌توان، جز تعدادی از آنها که لزوماً اهمیت کمتری ندارند، برپایهٔ زمان پیدایش، به سه گروه رده‌بندی کرد: روشهای آنالیز شیمیایی فرآورده‌های تکمیل شده و کنترل جریان تولید، تولید آلیاژها، تحول در روشهای تولید و عملیات تکمیل. گرچه می‌توان یک توالی زمانی در پیدایش آنها مشاهده کرد نباید از آن چنین نتیجه گرفت که آثار آنها روی تحول متالورژی، مستقل از رشته‌های دیگر بوده است. روشهای آنالیز، رشتهٔ آلیاژسازی را به پیش برده است و این امر بنوبهٔ خود، انگیزهٔ تقویت و بسط آنالیز شیمیایی بوده است. همین نوع تأثیرهای متقابل، سومین گروه نوآوریها را به دو گروه دیگر، مربوط می‌سازد.

ممکن است برای تحلیل دقیقتر این پدیده، همچنین لازم باشد که تأثیرات متقابل تکنیکهای متالورژی و تکنیکهای مربوط به زمینه‌های دیگر صنایع قدیمی، که آنها هم مثل شیمی، برق و مکانیک پیوسته متحول بوده‌اند، یا تکنیکهای رشته بسیار نویی، همچون الکترونیک را به‌حساب آوریم. وانگهی این نوع تأثیرات متقابل را نمی‌توان وجه مشخصهٔ تحول در سده بیستم دانست. در دورانهای گذشته شاهد تظاهرات آن بوده‌اند و در بخشهای دیگر این مجلد پایانی، روی این نکته تأکید خواهد شد. اما تفاوت اساسی در این است که این شبکهٔ تأثیرات متقابل، با آهنگی شتابنده وسیعتر و چگالتر شده است.

شیوه‌های نخستین آنالیز: همین‌که متالورژی در راه تبدیل شدن به صنعتی دارای تولید انبوه گام گذاشت، مدیران کارگاههای مهم برای بررسی نوع وکیفیت فرآورده‌های خود به تأسیس آزمایشگاه‌هایی در کارخانه دست زدند. در اواسط سدهٔ نوزدهم، مؤسساتی نظیر شنایدر در فرانسه، یا کروپ در آلمان، به‌طور بسیار آزمایشی، چدنها، آهنها و فولادهای خود را رده‌بندی کردند تا اینکه بتوانند به روشهای ساخت خود نظمی بدهند و به مشتریان فرآورده‌هایی با ترکیب وکیفیت ثابت، آنان تکنیکهای آنالیز رایج روز را برای اندازه‌گیری بویژه کربن و عناصر نخستین بررسی مقاومت مصالح را که به تازگی بر اطلاعات مطمئن علمی متکی شده بود در اختیار داشتند. پس از اندک زمانی، همهٔ مؤسسات دارای نوعی آزمایشگاه‌های کنترل تولید شدند که فعالیت آنها گاهی به تحقیقات صنعتی هم کشیده می‌شد. دیدیم که آقای پیرامیل مارتن پیش از آنکه تحقیقات خود را در زمینهٔ تولید فولاد شروع کند به بررسی منسجمی از فرآورده‌های آهنی دست زد. با پیشرفت شیوه‌های نوین تبدیل، کمک آزمایشگاه از ضرورتها شد. افزایش منگنز به فولاد که آقای ماشت در آغاز

کارهای بسمر آن را پایه گذارد، تولید فروکروم بوسیلهٔ آقای م.ا. بروستلاین[1] در ۱۸۷۷ در کارخانهٔ هولتسر[2] واقع در فیرمینی[3] (در لوار ـ فرانسه)، پس از آن، تولید فروتنگستن بوسیلهٔ همان کارخانه در ده سال بعد، بدون تحقیقات و کنترل آزمایشگاه نمی‌توانست عملی شود.

دربارهٔ کنترل جریان تولید، تنها می‌توان روی مهارت مدیر تولید و معاونان وی و نیز متصدیان امر حساب کرد. غالباً کارخانه‌ای به‌علت رفتن تنها یک متصدی کارآزموده، تولید یک محصول را تعطیل می‌کرد. دستگاه طیف‌نگار (اسپکتروگراف) احتمالاً اولین وسیله‌ای بود که در جریان کار با روش بسمر مورد استفاده قرار گرفت.

میکرومتالوگرافی: نخستین بررسیهای ابتکاری برای ساخت وسیله‌ای جهت آنالیز نمونه‌های ریز فلزات در ۱۸۶۳ به توسط فیزیکدان منفردی از شفیلد انجام گرفت به نام هنری کلیفتن سربی[4] که این کار، پیشهٔ وی نبود. آقای سربی بود که اصول اساسی میکرومتالوگرافی را پایه گذارد. یکطرف این نمونهٔ ریز را با دقت پرداخت می‌کنند آن‌گاه یک مادهٔ شیمیایی ملایم، مثلاً یک اسید ضعیف یا رقیق را به مقدارکم روی آن اثر می‌دهند. در جریان تبخیر این اسید در هوای آزاد، سازاهای حل‌شدهٔ نمونه، متبلور می‌شوند و بقیه رسوب می‌کنند و آزمایش نمونه با میکروسکوپ، مشاهدهٔ ترکیبات گوناگون عناصری را که وارد فلز شده‌اند، ممکن می‌سازد. آقای سربی حدود ۲۵ سال روی این موضوع کارکرد. وی نخستین روشهای پرداخت، شرایط تأثیر شیمیایی، مشاهده با میکروفوتوگرافی را با بررسی مشکل روشن‌سازی نمونه و رؤیت، تعیین کرد. سرانجام وی در نتیجهٔ شمار چشمگیری از مشاهده‌ها، نحوهٔ تأویل کلیشه‌های پدید آمده را تشریح کرد، و بلورها و رسوبهای مربوط به سازاهای گوناگون موجود را توضیح داد. بعدها، این روش ساده شد. بعضی سازاها بیشتر از سازاهای دیگر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. با شست‌وشوی نمونه، ترکیبات ایجاد شده را خالی، و بعد تفاوت برجستگیها و رنگ‌آمیزیها را مشاهده می‌کنند.

کارهای او در اواخر زندگیش شناخته شدند و محققان متعددی کارش را فوراً پی گرفتند. از میان این گروه باید در آلمان از آقای آدولف مارتنس[5] نام برد که از آغاز سال ۱۸۷۸ حرفهٔ مهندسی شهرساز خود را رها کرد تا بدین کار بپردازد و در ۱۸۸۴ مدیر انستیتوی تحقیقات سیدرورژی کشور خود شد؛ در فرانسه آقای فلوری اوسمون نیز شغل خود را تغییر داد و در حرفهٔ مهندسی کارخانهٔ کروزو، کارهای متالوگرافی را در ۱۸۸۰ در آزمایشگاه کارخانه شروع کرد، سپس برای ادامهٔ تحقیقات در آزمایشگاه تروست[6]، عازم سوربون شد. آقای اوسمون ـ که در کروزو همراه ورت[7] کار می‌کرد از

1. Brustlein 2. Holtzer 3. Firminy 4. Henry Clifton Sorby 5. A. Martens
6. L. Troost 7. Wert

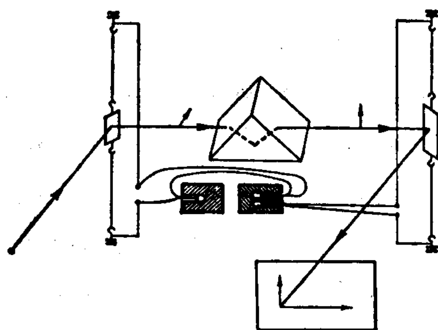
اولین کسانی بود که با روش میکرومتالوگرافی، بررسی ساختار فلزها و آلیاژها را پایه گذارد. این دو همکار در سال ۱۸۸۵ یادداشتی دربارهٔ نظریهٔ سلولی فولادها انتشار دادند که در آن هر دو شکل آلوتروپی آهن α و β مشخص شده بود (بعدها شکلهای γ و δ هم شناخته شد و معلوم شد که شکل β همانند α است) و نخستین مفاهیم مربوط به نقاط تبدل حرارتی فولادها را ارائه کردند. آقای اوسمون، ده سال بعد یادداشتی دربارهٔ ساختمان فولادها و چدنها منتشر کرد که بعدها مبنای کلاسیک تحقیقات متعددی دراین‌باره شد.

روشهای میکرومتالوگرافی همگام با تحقیقات دربارهٔ پرداخت‌کاری هرچه ظریفتر، استفاده از واکنشگرهای متعددتر و روشهای مشاهدات عکسبرداریهای راحت‌تر و مطمئنتر متحول شدند. درمورد نکتهٔ اخیر باید گفت که دستاورد قاطع از آقای هانری لوشاتلیه[1] در ۱۸۹۵ با طرح میکروسکوپی کاملاً مناسب این نوع مشاهده بود. در اثر ترتیب افقی عدسی چشمی، مشاهده‌گر می‌توانست دستگاه را تنظیم کند و عکسهای مناسبی بردارد، عدسی جسمی عمودی و واژگونه به طرف بالا کار گذاشته می‌شد. نمونهٔ مورد آزمایش را بالای آن می‌گذاشتند. منشورهای با بازتاب کامل، مسیر نور روشن‌سازی و بازتاب روی نمونه را تعیین می‌کردند. با چند تغییر شکل و اصلاح، میکروسکوپ لوشاتلیه رایجترین وسیلهٔ در عکسبرداری میکروسکوپی از فلزات شد. نباید فراموش کرد که میکروسکوپ الکترونی، پس از جنگ جهانی اول، وسیلهٔ بسیار دقیقتر از میکروسکوپهای نوری است و در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی متالورژی و نیز رشته‌های دیگر به‌کار گرفته شد.

نمودارهای تعادل: آنالیزگرمایی، یعنی بررسی خمهای خنک‌سازی فلزات در جریان جامد شدن، از حدود سال ۱۹۰۰ یک شیوهٔ تازهٔ فیزیکی تعیین ترکیبات فلزات شد. نخستین اظهارنظرهای آقایان اوسمون و ورته، تنها پس از فرمول‌بندی اصل کاربرد قانون فازهای جو سایه ویلارد گیبس، و در ۱۸۹۹ بوسیلهٔ فیزیکدان هلندی، آقای هندریک روزبوم[2] و در ۱۹۰۰ آقای لوشاتلیه از آن برای کامل کردن بررسی نمودار تعادل مهمترین آلیاژ آن زمان، یعنی آهن ـ کربن استفاده کرد. این قانون بسیار کلی، تعیین تعداد پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر در یک تعادل را ممکن ساخت.

پیگیری این کارها توسط تجربه‌گران متعدد، وجود ترکیبات موجود در فولاد، فریت، گرافیت، سمانتیت (کربیدآهن) و غیره و نیز گذارهای نقاط گوناگون تبدل، اتکتیک و اتکتوئید را آشکار ساخت. این مفاهیم، پس از پیشرفت معینی که داشتند به یک ابزار اساسی مورد استفاده نه‌تنها در تولید فولادها و عملیات ریخته‌گری، که در تولید همهٔ آلیاژهای دوتایی و اکثر آلیاژهایی که سه و حتی چهار جزء متشکله دارند تبدیل شدند.

1. Henry Le chatelier 2. Hendrik Roozeboom



شکل ۲۳.نمودار دستگاه لوشاتلیه و سالادن، (Le Chatelier-Saladin) برای آنالیز گرمایی یک آلیاژ. نمونهٔ مورد بررسی با یک مبنا، در بخش همدمای کوره گذارده می‌شود. دمای این بخش بوسیلهٔ یک جفت گرمابرقی از پلاتین و پلاتین رودیم‌دار که به سرهای یک گالوانومتر، در سمت راست اتصال دارند، اندازه گرفته می‌شود. مبنا در سمت چپ با دو زوج گرمایی که دربرابر یکدیگر قرار داده شده‌اند به گالوانومتری، در سمت چپ اتصال دارند. تفاوت دماهای نمونه و مبنا معلوم می‌شود. یک دسته اشعهٔ نوری به آینهٔ سمت چپ می‌تابد، جابه‌جایی جانبی آن، بوسیلهٔ منشور میانی، عمودی می‌شود. سرانجام آینهٔ سمت راست آن را بازتاب می‌کند. بر روی صفحهٔ عکاسی، خم تفاضل دود ما رسم می‌شود.

وسیلهٔ مشاهده پس از اندک مدتی با کاربرد زوجهای گرمابرقی دقیقتر، و خواص آنها در اندازه‌گیری دماها، چند سال بعد بوسیلهٔ لوشاتلیه توضیح داده شد. این فیزیکدان با کمک ا. سالادن[1] وسیله‌ای طرح کرد که ثبت عکسی خم دمای نمونه‌ای را که در حال گرم و سرد شدن است ممکن می‌ساخت. اساس این وسیله، استفاده از دو زوج گرمابرقی بود که یکی، جهت نمونه و دیگری برای مبنای بی‌اثری که بر پایهٔ آرایشی که آقای رابرت اوستن طرح کرده بود، مقابل اولی سوار می‌شد و این مدارها به دو گالوانومتر آینه‌دار وصل می‌شدند (شکل ۲۳). یک دسته اشعهٔ نوری که بوسیلهٔ این دو آینه، پیاپی بازتاب می‌شدند بر روی یک صفحهٔ عکاسی می‌افتند و خم پدیدهٔ گرمایی را بر روی صفحه رسم می‌کنند. طبعاً، به‌دنبال آن، وسایل دیگری اختراع شدند، اما دستگاه لوشاتلیه و سالادن تا مدتها رایجترین وسیله باقی ماند.

روشهای تازهٔ فیزیکی: این روشهای نخستین، روابط بین ساختار آلیاژها با خواص و ترکیب شیمیایی آنها را آشکارکردند. در آغاز سدهٔ بیستم، مسائلی که هنوز بسیار پیچیده و دشوار می‌نمودند،

1. E.Saladin

تا حدودی توضیح داده شدند. موفقیت سریع آنها بویژه مدیون آقای لئون گیبه[1] است که کارشناسان را به یافتن تازه‌هایی در تکمیل یافته‌ها ترغیب می‌کرد. یکی از پدیده‌های فیزیکی که وی توجه کارشناسان را به آن جلب کرد، انبساط حرارتی آلیاژها بود. بررسی این پدیده در سال ۱۹۱۱ در آزمایشگاه فولادسازی انفی شروع شد. آقای پیرشونار[2] که این تحقیقات را دنبال می‌کرد یک آلیاژ نیکل ـ کروم به نام baros را مبنا قرار داد. انبساط حرارتی این آلیاژ، منظم و برگشت‌پذیر بود و از آن برای تثبیت بسیار دقیق واحدهای جرم استفاده کرد. با افزودن تنگستن به آلیاژ baros، آلیاژی به نام pyros به‌دست آمد ـ نامی که در یک ردیف ابزارهای ثبت‌کننده به‌عنوان اصطلاح ثابت، وارد شد ـ با این ابزارها، آثار گوناگون حرارتی امکان تحلیل و تفسیر یافتند.

بررسی پراش اشعهٔ X به کمک شبکه‌های بلوری تشکیل‌دهندهٔ آلیاژ، در اواخر سالهای ۱۹۲۰ پس از کارهای مداوم آقایان ماکس فون لاوئه و براگ[3] در ۱۹۱۲، سپس آقایان پتر دبای و شرر در سالهای ۱۹۱۲ و ۱۹۱۶ انجام گرفت. این تکنیکهای مشاهده‌ای، در شیمی نیز برای تعیین ساختار درشت مولکولها به‌کار گرفته شدند. روش دبای ـ شرر، که در آن از گردهای متبلور استفاده می‌شد در تعیین ساختار آلیاژهای فلزی بسیار به‌کار گرفته شد. با این روش، شماری از پدیده‌های تجدید ساختمان آلیاژ بوسیلهٔ آرایش مجدد اتمهای تشکیل‌دهندهٔ بلورهای آلیاژهای دوتایی، تحت تأثیر تغییر دما، قابل فهم، و اثر عملیات حرارتی، بهتر تفسیر شد. جالب است بدانیم که کاربرد اشعهٔ X به اثبات نظریه‌ای انجامید که در سال ۱۸۹۰، یعنی پیش از کشف رونتگن، بوسیلهٔ فدروف، شونفلای[4] و بارلو[5] به‌دنبال کارهای آقای اوگوست براوه[6] در سال ۱۸۵۰، دربارهٔ وجود گروههای تقارنی بلور، ۲۳۰ گروه، بیان شده بود.

به محض اینکه آقایان دیویسن[7] و گرمر[8] در سال ۱۹۲۷ پدیدهٔ پراش الکترونی را کشف کردند متالوگرافی نیز در همین راستای به‌کار گرفتن روشهای فیزیکی به‌دست آمده در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی به این روش فیزیکی روی آورد؛ سپس در سالهای ۱۹۴۰ به پراش نوترونها گرایید، که نسبت به پراش اشعه X برتری دارد و می‌تواند آلیاژهای فلزاتی را که عدد اتمی آنها مجاور همدیگر است بررسی کند. اما روش اخیر در صنعت پذیرفته نشد.

سرانجام، پس از جنگ جهانی دوم هم، برای تحقیق در مورد ناخالصیهایی که آنالیز شیمیایی یا طیف‌نگاری از نشان دادن آنها در فلزاتی که به‌اصطلاح بسیار خالص نامیده می‌شوند، ناتوان می‌باشند، از ردیابهای رادیواکتیو کمک گرفتند. این وسیلهٔ نوین تحقیقاتی برای توضیح مسائل بسیار

1. L. Guillet 2. P. Chevenard 3. Bragg 4. Schoenflies 5. Barlow 6. Bravais
7. Davisson 8. Germer

گوناگونی نظیر سرعت گردش گازهای زنبورکها در دهانهٔ باردهی کوره‌های بلند یا پدیده‌های دیفوزیون عناصری مانند فسفر یا ارسنیک در فولاد به‌کار گرفته شد.

دستگاههای تحقیقاتی فیزیکی گوناگونی همراه با دستگاههای پیشین در دهه‌های نخستین سدهٔ بیستم به‌کار گرفته شدند، مانند ترموالکتریسته در آغاز ۱۹۱۵ و ترمومغناطیس در سال ۱۸۹۵؛ آقای لوشاتلیه رابطهٔ موجود بین نفوذپذیری مغناطیسی و ترکیب شیمیایی فولادها را کشف کرد. بعدها، اندازه‌گیریهای مغناطیسی هم رابطه‌ای را با ساختار فولادها آشکار کردند.

آزمایشهای مکانیکی: روشهای گوناگون آزمایشهای مکانیکی در همین دوره را باید به این مجموعه روشهای فیزیکی با خاستگاه علمی، که در تفسیر پدیده‌های ساختاری ناشی از چاره‌کاریهای فلزات و آلیاژها کارایی جالبی نشان داده‌اند، اضافه کرد.

در همان سدهٔ نوزدهم توانستند ثابتهای کشسانی و پایداری دربرابر پارگی را برای فراورده‌های متالورژیکی تعریف کنند. آقای مارتنس وسیله‌ای برای مشاهدهٔ ثابتهای کشسانی، رابطهٔ مقدار بار کششی با انبساط طولی (در محدوده‌ای که پس از برداشتن بار، نمونه به مقدار اولیه باز گردد)، به کمک آینه‌هایی اختراع کرد که نشانه‌های رسم شده روی نمونه را بر یک خط‌کش مدرج بازتاب، و این جابه‌جایی را چند برابر می‌کنند. روشهای بسیار دقیقتری نیز بعدها به‌کار گرفته شدند، از آن جمله روشی که آقایان لو رولان[1] و سورن[2] در آغاز سالهای ۱۹۴۰ و آقای کابارا[3] در ۱۹۵۱ پیشنهاد کردند که برپایهٔ تشدید (رزونانس) تموجات دو آونگ یکسان، و انتقال این تشدید بوسیلهٔ نمونهٔ مورد آزمایش عمل می‌کرد. روشن است که چنانچه یکی از این دو آونگ، زمانی‌که دیگری ثابت است، نوسان کند، نوسانات آن، درحالی‌که دیگری رفته‌رفته به‌نوسان در می‌آید، تا سکون کامل، مستهلک می‌شود. مدت زمان این پدیدهٔ تناوبی با کشسانی نمونه‌ای که حامل آن است متناسب است. آزمایشهای پایداری در برابر پارگی که به‌طور سنتی با کشش نمونه انجام می‌گرفت، نیز رفته‌رفته، زمانی‌که کارهای متخصصان متعددی که آقای شارپی آنها را با اختراع آونگ ضربه‌زن، که نام وی بر آن مانده است، به‌نتیجه رسانید، با ضربه عملی شد.

آقای برینل[4] پیش از سال ۱۹۰۰ دستگاهی برای تعیین سختی فلزات طرح کرد. در این دستگاه با ساچمهٔ مقاومی روی نمونه فشار وارد می‌آورند و مقدار اثر را با وسیلهٔ مخصوصی اندازه می‌گیرند. کارهای دیگری نیز بعدها برای این اندازه‌گیریها با دقت بیشتری پیشنهاد شدند؛ از قبیل: دستگاه آمسلر برای ثبت آثار کشش فلز؛ دستگاه گییری[5] برای تعیین سختی و پایداری در برابر ضربه. بااین‌حال، برای دو اندازه‌گیری اخیر، آونگ شارپی، تنها وسیلهٔ کارآمد باقی ماند.

1. Le Rolland 2. Sorin 3. Cabarat 4. Brinell 5. Guillery

ما روش کلی آزمایش روی نمونه‌های بسیار کوچک را مدیون آقای پیر شونار[1] هستیم، وی بطرز کاملاً تازه‌ای که هیچ مشابهتی با روش سنتی نداشت، این آزمایش را عملی کرد. ردیفی از دستگاهها برای آزمایشهای مکانیکی ریز، رفته رفته ساخته شدند. برداشتن نمونه‌هایی به اندازهٔ چند میلیمتر، قطعهٔ مورد آزمایش را معیوب نمی‌سازد، و این نمونه‌برداری را می‌توان در نقاط مختلف قطعه انجام داد تا همگونی فلز آزمایش شود.

در سالهای ۱۹۱۰ـ۱۹۲۰ رشتهٔ متالورژی شاهد انواع آزمایشهای بُرش و خمش و نیز شمار زیادی آزمایشهای دیگر بود که یا برای بررسی رفتار فلزات دربرابر بعضی عوامل فیزیکی یا شیمیایی، یا جهت کنترل آنها در جریان ساخت یا پس از آن، انجام می‌گرفتند، از قبیل تعیین مقدار قابلیت ارتجاعی، خزش، خستگی، چکش‌خواری، جوش‌پذیری، سنبه ماتریس‌کاری و غیره. بعدها، روشهای کشف جرمهای فلزی برای آشکارسازی نواقص داخلی هم افزوده شد: عکسبرداری با اشعهٔ X و بعد با اشعه γ؛ کشف با امواج فراصوتی (اولتراسون) با گذرانیدن آنها از قطعه یا با بازآوایی؛ روش مگنتوسکپی؛ القای جریانهای فوکو؛ و غیره.

بدین ترتیب، می‌توان فهمید که چگونه یکی از کهنترین صنایع بشری، براثر تغییر شکلهای تکنولوژیکی سدهٔ نوزدهم، درگیر تحولی با پایهٔ علمی شد. سرشت این مجموعهٔ همواره متحول، از نظر روشهای آنالیز و کنترل، بستگی به آگاهیهای ما از پدیده‌های درونی جسم دارد که همهٔ تبدلات شیمیایی و فیزیکی جریان ساخت را دربرمی‌گیرد ـ آگاهیهایی که پیوسته دقیقتر می‌شوند. نتیجهٔ چنین تحولی، امکان اجرای این عملیات در جریان کار بود مثلاً، دستگاه تداخل‌سنج (انترفرومتر) آقای شارل فری[2]، زوجهای ترموالکتریکی لوشاتلیه از نخستین وسایلی بودند که دمای کوره‌ها با آنها، پیوسته کنترل می‌شد. دقیقتر شدن آنالیزهای شیمیایی، پیدایش روشهای بسیار سریع روی نمونه‌های میکرونی برداشته شده، امکان داد تا در جریان کار ساخت، دخالت کنند. سرعت انتقال همه‌گونه اطلاعات، مثلاً در جریان کار کورهٔ بلند و آزمایش این اطلاعات به کمک کامپیوترهایی که به‌موقع کار می‌کنند، اجازه می‌دهد که جریان کار، به‌طور خودکار اصلاح شود.

از سوی دیگر، حدود یک سده است که این اطلاعات دقیق از روابط بین ترکیب آلیاژها و خصوصیات فیزیکی، ساختاری و مکانیکی آنها، پایگاهی برای پیشرفت بزرگ در امر تهیه و کاربرد آلیاژها فراهم آورده است.

بررسیهای اولیه روی آلیاژها: اگر بپذیریم که آلیاژها مخلوطی هستند که لااقل یکی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ آنها، فلز است، می‌توان گفت که از همان آغاز رشتهٔ متالورژی، انسان به‌طور اساسی

1. P. Chevenard 2. Ferry

آلیاژهایی می‌ساخته است. تردیدی نیست که در اواخر سدهٔ هفدهم بود که دانش تهیه فلزها، آهن و مس ـ که در آغاز تا حدود زیادی خالص بودند ـ شروع شد و در اواخر سدهٔ نوزدهم، مفهوم آلیاژ مشخصتر شد. گویا عنصر منگنز، نخستین فلزی است که به فلزات دیگر، آهن و مس افزوده شد تا آلیاژهایی با ترکیبهای نسبتاً معین ساخته شوند. آلیاژهای مس ـ منگنز را آقای گرسدورف[1] در ۱۸۴۹ برای نخستین بار ساخت. گفته شده است که آقای رابرت ماشت، حدود سال ۱۸۶۰ افزایش منگنز به فولاد بسمر را پایه گذارد و بعدها حدود ۱۸۶۸ تنگستن به آن افزوده شد. آقای رابرت هدفیلد[2] حدود ۱۸۸۲ خواص مکانیکی این فولادها را به تناسب درصد منگنز و نیز عملیات حرارتی، بویژه آب دادن آنها را مورد بررسی پیگیری قرار داد. آلیاژهای آهن ـ نیکل، همان‌طورکه دیدیم، در آغاز به توسط بروستلاین در ۱۸۶۷ ساخته شدند، گرچه در ۱۸۶۵ آقای جولیس بوئر[3] امریکایی برای ساخت این آلیاژ، امتیازی به‌ثبت رسانیده بود.

آلیاژهای اولیه با مخلوط کردن فلزات و ذوب آنها به‌دست نیامدند، بلکه با افزودن مقدار سنجیده‌ای از فلز مورد نظر و زغال به فولاد، تهیه شدند، و این در زمانی بود که توانستند فلزات فرعی را با روش کلاسیک هانتسمن در بوته به‌دست آورند. روش ذوب درکورهٔ برقی، پس ازگذشت زمانی بسیار، در ۱۹۴۰ رواج یافت و کورهٔ القایی با بسامد زیاد و بویژه کورهٔ با قوس برقی برای تهیهٔ فولادهای مخصوص، کورهٔ القایی با بسامد کم جهت تهیهٔ آلیاژهای مس و آلومینیم، کوره با مقاومت برقی، ازجمله کورهٔ با سربارهٔ رسانای برق برای مس و آلومینیم بنوبهٔ خود ساخته شدند. همهٔ این وسایل پیوسته تکمیل می‌شدند که یکی از مراحل تکمیلی، نوساندارکردن آنها برای بارریزی بود ـ کاری که برای همه نوع کوره عمومیت یافت.

دنبال کردن تحول تکنیکهای تهیهٔ آلیاژها ممکن نیست؛ تنها خواهیم کوشید تا تصوری از نوع تحقیقاتی که به تولید آلیاژهای ویژهٔ ابزارکار روی فلزات، فولادهای تُندبر انجامیده است ارائه دهیم. این کارها بوسیلهٔ آقایان منسل وایت[4] و تیلور در سالهای ۱۸۹۸ـ۱۹۰۶ با سرمایهٔ Bethlehm Steel Co انجام گرفت. اینان در سال ۱۹۰۰ بسیار پیشرفته بودند، زیرا نخستین ردیف ابزارهای آنان در نمایشگاه عمومی پاریس به نمایش گذارده شد و در محافل تکنسین‌ها هیجانی به‌وجود آمد. گزارشگران آن زمان شکایت کرده‌اند که این افراد با قسمت خبرنگاران در سالن ضمیمهٔ ونسن[5] گرفتار شده بودند؛ اما این گرفتاری، مانع موفقیت آنان نشد.

روش بررسی آلیاژهای فولاد ـ کروم ـ تنگستن که آقایان تیلور ـ وایت خود را وقف ساختن آنها

1. Gersdorff 2. Hadfield 3. Julius baur 4. Maunsel White 5. Vincennes

کرده بودند، به‌نوعی بود که نفر اولی، چند سال بعد تصمیم گرفت وقت خود را صرف تحقیقات دربارهٔ سازمان علمی این کار کند. آنان دوازده عامل را در تراشکاری یک قطعه فلزی مؤثر یافتند؛ که بعضی از این عوامل به خود قطعه فلز بستگی دارند (نوع فلز و ابعاد آن)؛ و عواملی به شرایط کار؛ (عمق برش، مدت کار بدون نیاز به تیز کردن مجدد، فشار، سرعت، حرکت طولی تیغ‌رنده ـ ،خوراک ـ ،خنک‌کردن) مربوط می‌شوند؛ عواملی نیز در ارتباط با ابزارکار هستند: (ترکیب و چاره‌کاری فولاد ابزار، شکل لبهٔ برش تیغ رنده و . . .). آنان در بررسیهای خود، عاملی را تغییر می‌دادند و عوامل دیگر را ثابت نگاه می‌داشتند.

روشن است که منظور آنها تعیین ترکیب فولادها در رابطه با محدودیتهای زیاد کاری که از ابزار انتظار داشتند، و نیز طرز چاره‌کاری این فولادها بود. فولادهای نخستین تیلور و وایت دارای ۴ تا ۵٪ کروم، ۱۴ تا ۱۸٪ تنگستن بودند. این فولادها می‌توانستند، بدون اینکه اثرات آبدیدگی را از دست بدهند، دمای بالا را تحمل کنند به‌طوری‌که تراشه‌هایی که از دستگاه خارج می‌شدند به رنگ قرمز تیره باشند. به گواهی معاصران و از جمله آقای لئون گییه همین دستاورد است که بسیار شگفت‌انگیز بود. فولادهای ابزار تا سال ۱۹۰۰ اثرات آبدیدگی را پیش از آنکه دما به ۴۰۰ برسد از دست می‌دادند، اما فولادهایی که در نمایشگاه ارائه شدند بدون ناراحتی در دمای حدود ۴۰۰ درجه فعال بودند.

آلیاژهای امریکاییها، که بعدها کمی مولیبدن و وانادیم (از هر کدام حدود ۱٪) به آنها افزوده شد در دمای بالای ۱۴۰۰ درجه، حدود دمای ذوب، آبداده، و سپس در دمای ۶۰۰ درجه آبگیری (بازپخت) می‌شدند. در این کار نوعی فوت و فن به‌دست آمده از تجربه اعمال می‌شد. در آن زمان اطلاع چندانی از ساختار فیزیکی آلیاژها، برای استفاده از آنها نداشتند. بعدها با روشهایی که پیدایش آنها در بالا شرح داده شد توانستند پدیده‌های فیزیکو شیمیایی رخداده شده در آلیاژ در جریان عملیات حرارتی را تفسیر کنند. در این تفسیر، تشکیل انواع کربیدهای فلزات آلیاژی و حل شدن آنها در کربیدآهن، که همیشه در فولاد وجود دارد، و تأثیر درصدهای آهن گاما در دماهای گوناگون کار، درنظر گرفته می‌شد.

آلیاژها و تجهیزات نظامی: در پایان سدهٔ نوزدهم، نیازهای ارتش، برنامهٔ تهیهٔ آلیاژهای نوینی را تقاضا می‌کردند. نخستین آلیاژهای کارخانهٔ هولتسر که آقای بروستلاین آنها را ساخت، مطمئناً جهت تولید ابزارهایی برای کار روی فلزات بود، اما، به‌طور عمده برای ساخت زره ناوهای جنگی و وسایل نظامی به‌فروش رسید. همین‌که این آلیاژها شناخته شدند، کارخانه‌های ویژه‌ای، بی‌درنگ

آنها را پذیرفتند.

نخستین نمایش این صفحات زرهی و پایداری آنها دربرابر ضربات گلوله‌ها، یقیناً آنهایی بودند که در سال ۱۸۹۰ در پایگاه آناپولیس ممالک متحدهٔ امریکا ساخته شدند. صفحه‌ای از فولاد نیکل‌دار که کارخانهٔ کروزو آن را فرستاده بود و آماج گلوله‌های توپ قرار گرفته شده بود برتری خود را نسبت به صفحات آهن یا فولاد معمولی نشان داد. در آن زمان همهٔ مؤسسات به بررسی طرز تهیهٔ انبوه این صفحات زرهی فولاد ـ نیکل، یا فلزات دیگر مشغول شدند و نیروهای دریایی همهٔ کشورها در اندیشهٔ پوشانیدن کشتیهای خود با این صفحات بودند. پس از گذشت این دوره، به دورهٔ دیگری گام می‌گذاریم که به تحقیق دربارهٔ تولید فولادهای سمانته (کربن خورانی‌شده) و آلیاژی شده با نیکل و کروم می‌پردازند. کارخانهٔ کروپ، حدود سال ۱۸۹۳ چنین فولادی را تهیه کرد که موفقیت بسیار یافت و مؤسسات بزرگ در سراسر جهان از آن تقلید کردند. در فرانسه مؤسسه Rive-de-Gier که در آن زمان مدیریت آن را متالورژ بزرگی به نام ژول مارل[1] عهده‌دار بود در سال ۱۹۰۵ روش خاصی برای تولید ابداع کرد که فراورده‌های آن مدت چند سال مطلوب و مورد توجه بود.

در این مسابقه در ساخت فولادهای آلیاژی، هر دستاوردی بسرعت کهنه می‌شد. در آغاز، همهٔ مؤسسات می‌کوشیدند از رقبای خود پیشی گیرند، اما این رقابت، به مصالح زرهی و اجرای پرتابه‌ها نیز سرایت کرده بود. کارخانهٔ هولتسر، سازندهٔ فولادهای نیکلی، بی‌تردید نخستین کارخانه‌ای بود که در ۱۸۸۲ گلوله‌هایی از فولادهای کرومی ساخت. این کارخانه مرحله‌به‌مرحله ساخت این گلوله‌های «کلاه‌گیس‌دار» (چون تنها منطقهٔ اصابت، به پوشش مخصوص نیاز داشت) را به پیش برد. کارخانه‌های ریخته‌گری دیگری نیز بزودی وارد این مسابقه شدند اما، درعین‌حال، به بررسیهای خود برای تهیهٔ آلیاژهایی مناسب صفحاتی، مقاومتر از سلاحهای تهاجمی، ادامه دادند.

زره‌ها و گلوله‌ها تنها عناصر مؤثر در حمایت دربرابر تیرها نبودند. مقاومت توپها و مقدار نیروی پرتاب آنها نیز در این رقابت سالم سهمی داشتند. ریخته‌گریها، با تأخیری حدود ده سال به این رشته علاقه‌مند شدند. درواقع در سال ۱۸۹۴ بود که کارخانهٔ انفی، به تقاضای کارگاههای توپ‌سازی پوتو[2] بررسیهایی برای تهیهٔ آلیاژی مناسب چدن توپ را شروع کرد. به دنبال این تقاضا در ۱۸۹۴ فولاد مخصوصی با نشانهٔ NC4 ساخته شد. این یکی از نخستین فولادهایی است که با حروف ـ شماره مشخص شد. فولادی با ساختار اوستنیتی، که پایه‌گذار ردیف طویلی از آلیاژهای دارای ۲۲٫۵٪ نیکل و ۲٫۵٪ کروم بود. توپ ۷۵ که دپور[3] بررسی آن را در ۱۸۹۲ آغاز کرده بود و

1. J. Marrel 2. Puteaux 3. Deport

کاپیتان سنت ـ کلردو ویل و امیل ریمایو[1] در سالهای ۱۸۹۴ و ۱۸۹۶ آن را تکمیل کردند، در سال ۱۸۹۷ با این فولاد ساخته شد و در همان جنگ جهانی اول شهرت فراوان یافت. به طوری که بعدها یکی از معاصران نوشته است: «این بررسیهای دانشمندانه و کاربرد آنها در ساخت این فولادها» با شروع جنگ در ۱۹۱۴، قطع شد.

با این‌حال، این کوششها به‌هیچوجه بی‌ثمر نبود. کوششهای تسلیحاتی که از سالهای ۱۸۶۰ شروع شده بود، در تحول متالورژی نتایج بسیار ارزشمندی داشت. در این فرصت روشهای آنالیز، که قبلاً دربارهٔ آنها سخن گفتیم، تکامل یافتند و نوعی تکنولوژی تهیهٔ آلیاژها، براساس تحقیقات آزمایشگاهی پدید آمد.

فراوان شدن آلیاژها: بررسیهایی در انفی شروع و با راهنمایی آقای شونار دنبال شد، و نتایج مترتب بر آنها از نقطه نظر متدولوژیکی، انگیزهٔ ساخت پیاپی انواع آلیاژهای فراوان فولادهای نیکل‌دار بودند. از میان آلیاژهای بسیار جالب، یا دارای اهمیت صنعتی، می‌توان از آلیاژ آقای شارل ادموناگیوم[2] سویسی با نام اینوار[3] نام برد، آلیاژی که ۳۶٪ نیکل و ۰٫۳٪ کربن دارد. ضریب انبساط حرارتی آن صفر است و برای ساخت ابزارهای اندازه‌گیری، زمانسنجی، ژئودزی و غیره ارزشمند است؛ و نیز آلیاژ الینوار[4] ساختهٔ گیوم و شونار که ثابتهای کشسانی (نسبت الاستیکی) ناوابسته به دما، آن را مناسب ساخت ابزارهای زمانسنجی کرده است؛ پلاتینیت که همان ضریب انبساط حرارتی شیشه را دارد و در ساخت لامپهای برق ـ در زمانی‌که این تولید به صنعت انبوهی تبدیل شده بود، جانشین پلاتین شد، که وجه تسمیهٔ آن بود. در اینجا باید از baros که قبلاً از آن سخن گفتیم نیز یاد کنیم.

آلیاژهای نیکل تنها جهت ساخت ابزار دقیق ساخته نمی‌شدند. در بیشتر موارد، این آلیاژها در پایهٔ کاربرد وسیع روشهای شیمی صنعتی یا در دستگاههای مکانیکی قرار دارند. آلیاژ دیگری که ساخت آقای شونار است BTG نامیده می‌شود که پایداری آن در دمای بالا، امکان ساخت وسایل لازم جهت راه‌اندازی روش ژورژ کلود، مربوط به سنتز آمونیاک را فراهم ساخت. آلیاژ دیگر، ATV می‌باشد که برای ساخت سوپاپهای موتورها و قطعات گردندهٔ توربینها از آنها استفاده می‌شود. آلیاژهای دیگر نیکل، از قبیل پرمالوی[5] با ۷۸٪ نیکل و نومتال[6] در سالهای ۲۰ سدهٔ بیستم برای به‌اصطلاح پوپینی کردن[7] کابلهای تلگراف زیر دریا، در سایه داشتن نفوذپذیری مغناطیسی زیاد به‌کار گرفته شدند. اولین فولاد زنگناپذیر در هوا، *Stainless* را آقای لئون گیبه در ۱۹۲۰ در انگلستان

---

1. E. Rimailho 2. E. Guillaume 3. invar 4. elinvar 5. permalloy 6. numetal

۷. Pupinisation از نام مخترع و فیزیکدان امریکایی مایکل پوپین (M. pupin)، گذاردن قرقره‌های خود القا به فواصل مساوی، در خط تلفن یا تلگراف، برای واضحتر شنیده شدن صدا یا علامت.ـم.

ساخت. بعدها بر آن شدند تا آلیاژهای پایدار دربرابر عوامل شیمیایی بسازند.

مطالبی که دربارهٔ فولادهای نیکل‌دار گفته شد می‌تواند با نمونه‌های دیگری از ساخت فولادهای آلیاژی با فلزات دیگر: منگنز، کروم، تنگستن، مولیبدن، وانادیم، سیلیسیم و غیره تکرار شود و همه آنها پیش از پایان سدهٔ نوزدهم به‌کار گرفته شدند. کارهای فراوانی که طی سه یا چهار دههٔ سدهٔ بیستم انجام گرفت به متالورژها امکان داد که خاصیتی را، که هریک از آنها به فولاد می‌بخشند ـ گرچه گاهی تقریبی ـ تعیین کنند و از این پایگاه، برای جست‌وجوی ترکیبات دیگری که دیگر دو تایی نبودند بهره‌بردارند. علاوه بر این فلزات، بعدها به فلزات متعدد دیگری، از جمله آلومینیم، سپس سیلیسیم به مقدار بسیار کم برای ساختن ورقهای دینام، مس، و در سالهای ۴۰، سرب روی آورند؛ گرچه مخلوط شدن سرب با آهن بدشواری زیاد انجام می‌گیرد، اثر مهمی بر بازدهٔ ابزارها دارد. عملاً بخش مهمی از تولید آلومینیم برای به‌اصطلاح آرام کردن (از جوش انداختن) فولاد به‌هنگام تولید آن به‌کار می‌رفت.

مس، آلومینیم، روی، منیزیم و غیره نیز هستهٔ زنجیرهٔ آلیاژهای فراوان ناآهنی، بویژه دو فلز نخستین بودند. در ۱۸۵۵ آقای هانری سنت ـ کلردوویل بررسی ترکیب و تهیهٔ مفرغهای آلومینیم را شروع کرد. آلیاژهای مس به‌طور فشرده‌ای بمنظورهای صنعتی، در دوره‌ای که تولید آلیاژهای فولاد، آغاز شده بود، مورد بررسی قرار گرفتند. در اواخر سدهٔ نوزدهم به تأثیر افزایش فسفر و سیلیسیم توجه فراوان شد. این دو عنصر را به‌شکل ترکیبهایی در جریان تولید مس، به آلیاژ می‌افزودند تا از اکسایش آن در زمان ریخته‌گری جلوگیری شود. در سالهای نخستین سدهٔ بیستم، سرب و روی را به عنوان فلزات آلیاژی به مفرغ افزودند، بعداً شمار این فلزات بالا رفت. تیتان از همان زمانهای گذشته در ترکیب آلیاژها وارد شد. در آغاز سالهای ۳۰، نخستین آلیاژهای دارای بریلیم ساخته شدند.

دربارهٔ آلومینیم باید گفت که افزایش فلزات به آن برای تغییر دادن خواص مکانیکی آن، بی‌درنگ آغاز شد. به‌طوری که گفته‌اند نخستین آلیاژ آلومینیمی که کاربرد صنعتی یافت، دورالومین، بوسیلهٔ آقای ویلم[1] آلمانی در ۱۹۰۸ـ۱۹۰۹ با افزودن مس و منیزیم به آلومینیم ساخته شد. این آلیاژ قابل آبدادن است. سپس با پدیده‌ای از آن آشنا شدند که بعداً، سخت شدن ساختاری نامیده شد و توضیح آن را آقای گینیه[2] داد. به دنبال نوعی «رسیده شدن» در دمای معمولی در مدت هفتاد و دو ساعت، آلیاژ دورالومین دارای مقاومتی بسیار بیشتر از مقاومت بلافاصله پس از آبدادن خواهد شد و این ویژگی امکان به‌کارگیری آن را در این فاصلهٔ زمانی، بدون دشواری زیاد فراهم می‌سازد. این خصوصیت افزایش پایداری، برای آلیاژهای دیگر نیز رفته‌رفته شناخته شد، اما به‌طورکلی، با

1. Willm 2. Guinier

بازپخت یا آبگیری در دمای کم و بیش بالایی ایجاد می‌شود. این پدیده، انگیزهٔ بررسیهای فراوانی در دهه‌های ۲۰ و ۳۰ بوده است. اما در سال ۱۹۱۲ با ساخت صنعتی دورالومین آشنا شده بودند و از آن پس شمار آلیاژهای منیزیم تا روزگار ما به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. پس از دورالومین، آلیاژ قابل توجه دیگر، آلپاکس[1] با ۱۳٪ سیلیسیم است که در سال ۱۹۲۰ بوسیلهٔ پاتسه[2] ساخته شد. اگر دورالومین می‌تواند نورد و چکشکاری شود، آلپاکس می‌تواند ریخته‌گری شود؛ هر دو آلیاژ بی‌درنگ در اتومبیل و هواپیماسازی برای ساخت قطعات متعدد، بدنه، موتور و ... به‌کار گرفته شدند.

طویلتر کردن سیاههٔ فراورده‌های آلیاژهایی که به چند نمونهٔ یادشده در بالا افزوده شده‌اند کار درستی نیست. شیوه‌های بررسی هرکدام، در شناخت ترکیب شیمیایی، ساختار و پدیده‌هایی که در جریان چاره‌کاری از خود نشان می‌دهند، مؤثر بوده‌اند. با آگاهی هرچه بیشتر از تأثیر افزایش بعضی فلزات بر خواص مکانیکی یک آلیاژ، می‌توان جهت دادن به پژوهشی هرچه درست‌تر از فراورده‌های جدید، ایجاد خواص مکانیکی، فیزیکی یا شیمیایی مورد نظر، برای استفاده درکارهای گوناگون صنعتی را مؤثرتر ساخت.

اگر، همصدا با نویسندگان معاصر، درنظر بگیریم که می‌توان آلیاژهایی با ۸۰ عنصر گوناگون ساخت، باید گفت که شمار آلیاژهای دوتایی ممکن، از مرز ۳۰۰۰ و آلیاژهای سه‌تایی از ۸۰۰۰۰ نیز می‌گذرد. این ارقام نشان می‌دهند که متالورژی نوین به برکت گوناگونی این فراورده‌ها به اندازهٔ صنعت شیمی آلی در پاسخگویی به نیازهای تولیدات بسیار ویژه‌تر یک تکنولوژی که گسترهٔ آن نامحدود می‌نماید، توانا است.

تهیهٔ فلزات خالص: توجه متالورژها، از اواخر سدهٔ نوزدهم، معطوف به تهیهٔ فلزات حتی‌المقدور خالص بود. خالص کردن فلزات گرانبها همیشه از همان زمانهای بسیار قدیم استخراج آنها، دلمشغولی آنان بوده است. در دورهٔ بسیار نزدیک به ما این دلمشغولی متوجه فلزات معمولی بود: در آغاز مس، برای تأسیسات برق صنعتی از نظر رسانایی هرچه بیشتر برق؛ سپس آلومینیم، روی، سرب و غیره برای بهتر شدن خواص مکانیکی آلیاژهای آنان؛ و اخیراً فلزات متعدد دیگر، که درگذشته به‌عنوان فلزات درجهٔ دوم به آنها نگاه می‌شد و در روزگار ما در متالورژی فراورده‌های مخصوص به‌کار گرفته می‌شوند.

در سالهای ۱۸۷۰ـ۱۸۸۰ مقدار ۱٪ ناخالصی مورد قبول بود؛ بیست سال بعد، این ناخالصی تا ۰٫۱٪ پایین آمد. روش الکترولیز که در شرایط خاصی برای هر فلز به‌کار گرفته شد، در مورد ترکیب

1. alpax 2. Pacz

الکترولیت و مشخصات جریان برق، میزان ناخالصی را به ۰٫۰۱٪ کاهش داد و سرانجام اصلاحات روشهای گوناگون موجود، امکان داد تا صفر دیگری پس از ویرگول اضافه شود (۰٫۰۰۱٪).

به‌طوری‌که معلوم است، دسترسی به چنین نتایجی، به‌طوری‌که، تنها در سایه پژوهشهای ممتد ممکن است. در مورد الکترولیز، شرایط تصفیهٔ آلومینیم حدود سالهای ۲۰ به توسط آقای گادو[1] برای شرکت Alais, Forges & Camargue معین شد؛ آند دستگاه، آلیاژی از آلومینیم با ۳۳٪ مس بود که از فلزات ناخالص تهیه شده بود؛ الکترولیت، ترکیبی از فلوئورید آلومینیم، سدیم و باریم بود که در اثر ذوب، بخوبی مخلوط شده بودند؛ کاتد دستگاه، آلومینیم خالص بود. این حمام الکترولیتی سنگینتر از فلز خالص شناور در آن بود. با این روش، آلومینیمی با خلوص ۹۹٫۹۹۸٪ به‌دست آمد. تصفیهٔ الکترولیزی روی نیز نمونهٔ دیگری از این عملیات است. این روش که در دههٔ ۲۰ در ممالک متحدهٔ امریکا عملی شد، شامل تبدیل کانی به سولفات محلول است. این محلول سولفات، الکترولیت دستگاه است؛ کاتدها صفحات نازک آلومینیم می‌باشند که فلز روی بر آنها می‌نشیند، آندها از سرب هستند. در این مورد، کار با کانی نسبتاً فقیری که عملیات روی آن با روش معمولی استخراج به‌صرفه نیست شروع می‌شود و روش الکترولیز، مقدم بر عملیات شیمیایی بسیار پیچیده، تشویه برای تبدیل سولفید به سولفات، محلول کردن سولفات، سپس حذف ناخالصیها با کارهای گوناگون است. فلزی که به‌دست می‌آید کمتر از ۰٫۰۰۷٪ ناخالصی دارد. فلزات متعدد دیگری ، با این روشها بخوبی تصفیه می‌شوند.

برای تصفیهٔ فلزات از عملیات فیزیکی نیز استفاده می‌شد؛ که از آن میان باید از تقطیر جزءبه‌جزء در مورد تصفیهٔ روی در ۱۹۲۹ نام برد. در این تاریخ در ممالک متحدهٔ امریکا این روش از سوی New Jersey Zinc Co در صنعت به‌کار گرفته شد. بشقابکهای ستون تقطیر از کربوراندم بودند که سرب در یکی از ستونها حذف می‌شد و در ستون دیگری، کادمیم. عمل تقطیر، پیوسته بود و فلزی که به‌دست می‌آمد خلوصی برابر روی الکترولیزی داشت. تقطیر، یا به‌عبارت دقیقتر، تصعید، در سالهای ۳۰ به توسط آقایان شودرون[2] و ارنگوئل[3] به تصفیهٔ صنعتی منیزیم و نیز کلیسم راه یافت. اخیراً ذوب «منطقه‌ای» در متالورژی برای ژرمانیم و سیلیسیم تهیهٔ فوق‌العاده خالص این فلزات را برای کاربرد در ساخت نیم‌رساناها ممکن ساخته است.

فلزات دشوار: روش تقطیر، در پایان دههٔ ۴۰، پایهٔ روشهای اولیهٔ استخراج صنعتی تیتان نیز شد. متالورژی تیتان از همان آغاز به‌علت خواص فیزیکو شیمیایی آن بسیار دشوار و پرهزینه بود. این فلز در دمای ۱۷۳۲ درجه ذوب می‌شود و بنابراین روشهایی که برای استخراج فلزات معمولی

1. Gadeau 2. Chaudron 3. He′renguel

نظیر آهن دارای نقطهٔ ذوب ۱۵۳۹، یا مس ۱۰۸۳ به‌کار گرفته می‌شوند، به استخراج تیتان توانایی ندارند، وانگهی این فلز در حالت مذاب، همهٔ اکسیدهای دیرگداز را احیا می‌کند. علاوه بر اینها، تیتان در حالت گرم، مقدار زیادی گازهایی مانند نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن را جذب می‌کند. با در نظر گرفتن مشخصات گفته شده روشن می‌شود که چرا جداسازی تیتان با وجود داشتن خاصیت نرمی و مفتول‌پذیری، استحکام مکانیکی و پایداری در گرما و عوامل شیمیایی، تا سالهای ۴۰ سدهٔ بیستم عملی نشد. کانیهای آن فراوان هستند و فراوانی آن پس از آلومینیم، منیزیم و آهن و بیش از کانیهای مس است.

در سالهای ۱۹۰۵ـ۱۹۱۰ مقدارکمی تیتان فلزی را از ترکیبات هالوژندار آن ـ که با چاره‌کاری اکسید آن بوسیلهٔ زغال قرمز شده و فعل‌وانفعال جریانی از کلرروی‌کربور تشکیل شده به‌دست آمده بودند ـ تولید کردند. این هالوژنیدها آسان تبخیر می‌شوند؛ و این خاصیتی بود که بعدها از آن بهره گرفته شد. این هالوژنیدها به هالوژنوتیتانات قلیایی تبدیل، و با پتاسیم احیا می‌شوند. این فلز هنوز در محدودهٔ آزمایشگاه کاربرد دارد، زیرا به‌علت جذب نیتروژن هوا در دمای بالا در تهیهٔ آمونیاک به‌کار می‌رود.

اما، از همین زمان تولید فولادهای تیتاندار، طبعاً برپایهٔ کانیها یا فراورده‌های تبدیل آنها بدون اینکه مرحلهٔ جداسازی فلز در میان باشد شروع شد. مدتی، حوالی سالهای ۱۹۰۰، گمان می‌بردند که بعضی از فراورده‌های کورهٔ بلند، درخشش خود را مدیون تیتان خالص موجود در خود هستند؛ اما معلوم شد که این درخشش از مشتقات نیتروژنی و سیانوژندار فلز است. بدین ترتیب، مدتی بیش از یک‌چهارم سده، تیتان عملاً در متالورژی، تنها به‌شکل فروتیتان و بعدها به‌عنوان آلیاژ با فولاد به‌کار برده می‌شد. بعضی از این نمکها، از اوایل سده بیستم، به‌عنوان دندانه در رنگرزی الیاف گیاهی و چرمها به‌کار می‌رفتند. از اکسیدتیتان در داروسازی مانند اکسیدروی استفاده می‌شد.

آقایان وان آرکل[1] و بور[2] در ۱۹۲۵ روشی برای تصفیهٔ تیتان، برپایهٔ تبدیل فلز خام آن به یدید و تصعید این ترکیب پیشنهاد کردند. اما مشکل جداسازی تیتان عملاً حل ناشده باقی ماند، تا اینکه آقای کرول[3] امریکایی در ۱۹۴۰ روشی برای جداسازی آن یافت که می‌توانست صنعتی باشد. این روش برپایهٔ احیای کلرید گازی به کمک منیزیم مایع بود که در ۴۲۰ درجه ذوب می‌شود. چون تیتان گرم نیتروژن و اکسیژن را جذب می‌کند، این کار باید در جوّ هلیم انجام گیرد. تیتان به‌شکل اسفنجی همراه با مقداری کلریدمنیزیم به‌دست می‌آید و برای تصفیهٔ آن کلرید را تصعید، و تیتان را با قوس برقی از نو ذوب می‌کنند.

1. Van Arkel 2. Boer 3. Kroll

از عمل تصعید برای تهیه منیزیم از راه شیمیایی استفاده شده است. در ۱۹۵۱ آقای ماتینیون[1]، شیمیدان فرانسوی، نشان داد که در دمای ۱۱۰۰ درجه می‌توان منیزی (اکسید منیزیم) را به کمک یک فلز تجزیه کرد. چون این واکنش تعادلی است باید تصعید منیزیم را متناسب با تشکیل آن، با اجرای عمل در خلأ، فعال کرد. این روش در ابتدای دهۀ ۴۰ در ممالک متحدۀ امریکا و بریتانیای کبیر جنبۀ صنعتی یافت.

طی دهه‌های پس از جنگ جهانی دوم، جداسازی فلزاتی که درگذشته از جنبه متالورژیکی هیچ‌گونه سودی نداشتند، نیز صنعتی شد. این کار یا برای وارد کردن آنها در آلیاژهایی نظیر: بریلیم، زیرکونیم و مولیبدن بود یا برای استفاده از آنها به عنوان «سوخت» در رآکتورهای اتمی، مطلبی که در مورد اورانیم و توریم گفته شده است.

تحول در روشهای تولید انبوه: برای بهتر کردن کیفیت فراورده‌های متالورژیکی و پایین آوردن هزینۀ تولید، پیوسته تلاش می‌شد و این تلاشها به راه‌حلهای گوناگونی انجامید که گاهی جنبۀ فوت و فن را به‌خود می‌گرفت یا مبتنی‌بر تجهیزات جدیدی بود. شرح تفصیلی این رشته ممکن نیست، تنها می‌توان با آوردن چند نمونه، تصوری از این تلاش به‌دست داد.

در تولید فولاد باید گفت که روشهای بزرگ و کلاسیک، امکان حذف کامل ناخالصیها: فسفر، گوگرد، اکسیژن را که به‌شکل ترکیب در آن بودند، نداشتند. از سالهای ۲۰ سدۀ بیستم برای حذف کاملتر ناخالصیها، به‌طور پیگیری از کوره‌های برقی قوسی همراه با کنورتیسور یا با کوره مارتن و سربارۀ دارای ترکیب مناسب استفاده کردند. فولاد را در حال مذاب در کورۀ برقی می‌ریختند، سربارۀ آن بوسیلۀ گرمای قوس برقی ذوب می‌شد. آقای پل پرن در ۱۹۳۴ در ناحیۀ اوژین[2] روشی را به‌کارگرفت که تماس بسیار نزدیک فلز و سرباره را تأمین می‌کرد. سرباره را جداگانه ذوب می‌کرد و آن را همزمان با فولاد مارتن در پاتیل می‌ریخت. این روش به نام اوژین ـ پرن شهرت دارد. پس از جنگ جهانی دوم برای فولاد توماس روش اوژیپروال[3] پیشنهاد شد، که شامل دو رشته عملیات است: رشتۀ نخست برای حذف فسفر است که در خود کنورتیسور، در پایان تبدیل چدن به فولاد، با افزایش آهک و هوادهی مجدد انجام می‌گیرد؛ عملیات دستۀ دوم به روش اوژین ـ پرن تعلق دارد و حذف فسفر و اکسیژن را شامل می‌شود.

بررسیهای دراز مدتی در انبوهی از طرحهای گوناگون، اما با همان علاقه به بهتر شدن فراورده‌های تکمیل‌شده، در مورد پدیدۀ حبس گازها بوسیلۀ فلزات در جریان جداسازی شد. نگاهداری یا جذب گازها، در شرایطی، پدیده‌ای است که از دیرباز شناخته شده است و شامل تشکیل ترکیبات شیمیایی

1. Matignon 2. Ugine 3. Ugiperval

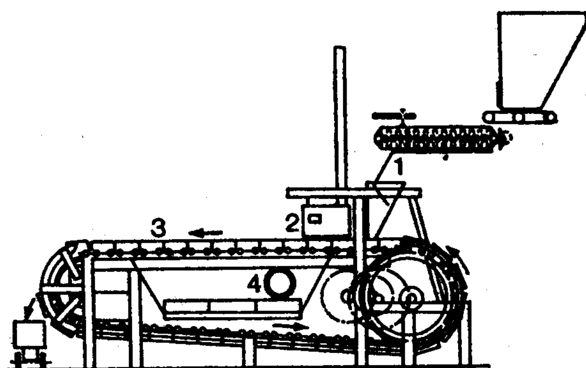
یا پدیده‌های سادهٔ فیزیکی پخش (دیفوزیون) داخلی است. آقای ژان باتیست دوما[1] در سال ۱۸۷۷ پدیدهٔ آبله‌گون شدن نقره را، که نتیجهٔ فرار بخشی از اکسیژن محتوی در آن به‌علت گرم کردن آن در خلأ است، سپس جذب گاز بوسیله آلومینیم و منیزیم را مورد بررسی قرار داد.

جذب هیدروژن بوسیلهٔ پالادیم نیز در سدهٔ پیش شناخته شد، اما تا سال ۱۹۳۸ در پرتو بررسی این پدیده به کمک اشعهٔ X، مکانیسم آن بدون توضیح مانده بود. در این دوره، مسألهٔ گاززدایی فلزات صنعتی، بحث روز بود: در فرانسه، شودرون از یکسوی و باستیین[2] از سوی دیگر، جنبه‌های اصلی آن را بررسی کردند. می‌دانستند که این پدیده‌ای همگانی است و گاززدایی فلزات هرگز کامل نخواهد بود. همچنین به بررسی نوع گازهای محبوس در فلزات و رابطهٔ آنها با عملیات متالورژیکی که روی آنها انجام می‌گیرد، شکل رابطهٔ گاز ـ فلز، دخول گاز در فلز، ترکیبات، جذب گاز، و تغییرات خواص فلزات در نتیجه وجود گاز در آنها پرداختند. در دههٔ ۴۰ نخستین روشهای حذف گازها در مقیاس صنعتی عملی شدند. خنک‌کردن آهسته پس از گرمای مجدد، افزودن موادی که با ناخالصیهای گازی ترکیب می‌شوند، هم‌زدن یا گازرانی در مذاب، ریخته‌گری در خلأ یا در جوّ آرگون، از عملیات تکمیلی برای بهبود کیفیت فراورده‌های متالورژیکی شدند.

پایین آوردن هزینهٔ تولید، که آن نیز دغدغهٔ همیشگی همهٔ صنعتگران است، سبب شد تا متالورژی در تکمیل روشها و تجهیزات خود بکوشد. در این زمینه نمونه‌های متعددی از تحول در طرح کوره‌ها، مثلاً کوره‌های تشویهٔ مکانیکی سولفیدها دیده می‌شود. در این‌راه، کار را از همان آغاز تهیهٔ کانیها، پیش از تشویه یا در جریان آن و بررسی وسایل کلوخه کردن کانیهای آسیا شده و در همجوشی آنها شروع کردند. در مورد کانیهای سولفیدی، آماده‌سازیهای آنها برای کلوخه شدن، با تشویهٔ قبلی انجام می‌گرفت. آقایان دوایت[3] و لوید در سال ۱۹۰۷ نخستین نوع دستگاهی را که این عملیات را به‌صورت خودکار انجام می‌داد ساختند (شکل ۲۴). کانیهای آسیا شده را همراه با زغال و یک مادهٔ چسبنده از دستگاه مخلوط‌کننده می‌گذرانند و در قیفی می‌ریزند. این قیف پرگان یک زنجیر گِرد افقی را که در یک کورهٔ مشتعل گردش دارند تغذیه می‌کند، سپس از بالای یک کانال تهویه می‌گذرند تا احتراق ادامه یابد.

بدین‌ترتیب، همزمان هم تشویهٔ جزئی و هم کلوخه شدن به‌شکل بریکتهای متخلخل اتفاق می‌افتد و از این بریکتها درکوره‌های احیا استفاده می‌شود. دستگاه دوایت و لوید از زمان اختراع آن به بعد همواره در حال تکمیل بود و از آن، برای عملیات متعددی استفاده شده است. این دستگاه در زنجیرهٔ آماده‌سازی کانیهای سولفیدی، بویژه سولفیدهای روی و سرب وارد شد. انیدریدسولفورویی

1. Jean-Baptiste Dumas 2. Bastien 3. Dwight



شکل ۲۴.دستگاه دوایت و لوید (Dwight-Lloyd)، برای کلوخه‌سازی و تشویهٔ کانیها.
۱. قیف تغذیهٔ دستگاه که روی یک مخلوط‌کننده و یک پخش‌کننده قرار دارد؛ ۲. کورهٔ اشتعال سولفیدها؛ ۳. زنجیر کاسه‌دار؛ ۴. کانال تهویه.

که تولید می‌کند آنچنان غنی است که می‌توان در تولید اسیدسولفوریک از آن استفاده کرد.

تشویهٔ مقدماتی با نمونه‌های دیگری از کوره‌ها یا کنورتیسورهایی انجام می‌گرفت که کمی بعد از کنورتیسوری که از آن سخن رفت طرح شدند. در کنورتیسور هانتینگتن ـ هبرلین[1] که هنوز هم رایج است، یا کنورتیسور سیفلزبرگ[2]، هوا از زیر پنجرهٔ حامل کانیها به درون آن دمیده می‌شود. این روشها را بسمری کردن هم گفته‌اند. هر دو نوع کنورتیسور، کلوخه‌های شکسته‌ای می‌دهند. اخیراً، در دهۀ ۴۰، نوع دیگری از کوره‌های دمشی، به نام کورهٔ گریناوالت[3] به خدمت گرفته شده است، که نوعی کنورتیسور با کار منقطع است. شعله از بالا به پایین بر روی تودهٔ تشویه شونده، که بر روی پنجره‌ای در بالای کانال تهویه قرار دارد، می‌تابد. تخلیهٔ این کوره با واژگون کردن آن است. بعضی از این تجهیزات، دستگاه دوایت و لوید، کورهٔ گریناوالت، در سیدرورژی، نه‌تنها برای آماده‌سازی کانیهای آسیاشده، بلکه برای بازیابی و کلوخه کردن غبارهای کوره‌های بلند، که هنوز دارای آهن زیاد هستند، نیز به‌کار گرفته شده‌اند.

ریخته‌گری پیوسته: طی سی یا چهل سال اخیر، کوششهای متعددی برای حذف مراحل واسطه‌ای و تبدیل برخی عملیات چند مرحله‌ای به عملیات پیوسته، انجام گرفت. این گرایش تازه‌ای نبود، ما با نمونه‌های جالب آن در تشکیل قطارهای پیوستهٔ نورد، یا مفتول‌سازی، تحولی که مستلزم بیش از

1. Huntington-Heberlin 2. Savelsberg 3. Greenawalt

نیم‌سده تلاش بود، آشنا شده‌ایم.

در این زمینه، در جست‌وجوی راهی برای حذف شماری از مراحل بین پاتیل بارریزی و وسایل شکل‌دهی، کار را از مراحل جلوتری شروع کردند. ریخته‌گری پیوسته عملاً در پایان دهۀ ۳۰ برای فلزات غیرآهنی و در ۱۹۴۲ـ۱۹۴۳ برای فولاد، نخست طبق روشی از تولید منقطع، سپس به‌طور پیوسته انجام گرفت، درحالی‌که روش منقطع هم باقی ماند.

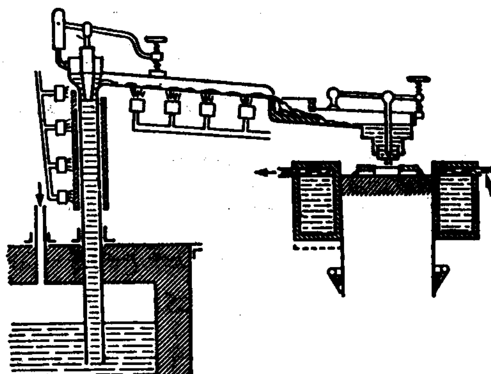
ریخته‌گری پیوسته، بیشتر مخصوص تهیۀ شمش یا ورق در صنعت آلومینیم یا مثلاً مس است. تجهیزات اساسی آنها یکی است و شامل تغذیۀ فلز مذاب قالب فلزی شمش از ارتفاع کم، (چند سانتیمتر برای فلزات ناآهنی، و چند ده سانتیمتر برای فولاد) است؛ جدارهای قالب را جریان آب خنک می‌کند؛ و ته قالب، پیستون متحرکی است که در آغاز عملیات، با فلز ریخته‌گری شونده پایین می‌رود. خنک شدن قالب موجب انجماد پوسته‌های بیرونی فلز مذاب می‌شود که در خارج شدن از قالب تشکیل یک قالب متحرک برای فلز مذاب درونی را می‌دهند. آبی که روی این قالب پاشیده می‌شود آن را به‌طور کامل جامد می‌کند. سرعت پایین رفتن فلز در حدود ده سانتیمتر در هر دقیقه است.

سیستمهای دیگر تغذیۀ قالب فلزی نیز ساخته شده‌اند. در یکی از آنها که ابتکار آقای واسرگوس[1] (شکل ۲۵) است، فلز مذاب از پاتیل با فشار هوا به دستگاه تقسیم رانده می‌شود. لوله‌ها که تا توپی بارریز گرم شده‌اند امکان می‌دهند زمانی‌که در عملیات گسسته، طول شمش یا ورق به‌حد معینی برسد، بارریزی متوقف شود. ورق فلز پس از سرد شدن کامل از قالب بیرون می‌آید و بارریزی تجدید می‌شود.

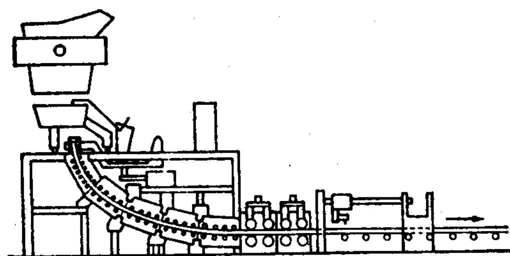
در سیستم پیوسته، فلز مذاب از پاتیل در ظرفی ریخته می‌شود که آن را در قالبهای فلزی مختلفی که آماده هستند تقسیم می‌کند و جدا شدن سرباره هم تأمین می‌شود (شکل ۲۶). شمش در جریان خنک شدن از میان غلتکهای دوگانه‌ای می‌گذرد، این غلتکها بیرون کشیدن آن را تنظیم می‌کنند اما آن را به‌هیچ‌وجه نمی‌کشند. شمش را با اره، یا یک مشعل اکسیدریکی برش، که با همان سرعت شمش جابه‌جا می‌شود قطعه‌قطعه می‌کنند. شمش همچنین ممکن است مستقیماً به‌طرف قطار نورد کاری راهنمایی شود.

کارکردن با این روش به‌علت پدیده‌های سرد و گرم کردنهای پیاپی شمش پس از جدا شدن از قالب ـ کاری که برای فولاد به دلیل نقطۀ ذوب بالای آن، بسیار اهمیت دارد ـ مشکل است. تکمیل آنها از همان آغاز راه افتادن نخستین دستگاهها، منظماً ادامه داشته است. در صنایع گوناگونی که

1. Wasserguss



شکل ۲۵.سیستم واسرگوس (Wasserguss)، برای تغذیهٔ گسسته قالب شمش ورق.
سمت راست شکل قالب شمش در زیر توپی تغذیه قرار دارد و جریانی از آب، آن را خنک می‌کند. سمت چپ: وسیله‌ای که با فشار هوا فلز مذاب را تأمین می‌کند و لوله‌هایی که به توسط ردیف مشعلهای گازی گرم می‌شوند.



شکل ۲۶.اصول ریخته‌گری پیوستهٔ فولاد.
در بالا، پاتیل فلز مذاب بار خود را در یک دستگاه توزیع خالی می‌کند؛ این دستگاه، چندین قالب فلزی را تغذیه می‌کند. فلز با راهنمایی غلتکهای راهنما، پایین رفته وارد قالب می‌شود. در پایین، شمش از میان غلتکهای بیرون‌کشنده عبور می‌کند و به قسمت برش می‌رسد که با سرعت یکسانی جابه‌جا می‌شود.

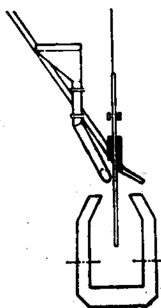
از بارریزی پیوسته استفاده می‌شود محصولات مرغوبی تولید می‌شوند و بازدهٔ تولید به دلیل حذف کارهای سنتی، حدود ۱۰٪ بالا رفته است. در سیدرورژی این روش می‌تواند برای همهٔ اقسام فولاد، به‌کار گرفته شود؛ بویژه مناسب کارخانه‌هائی است که مقادیر ثابتی از یک فولاد معین تولید می‌کنند. این روش طی سی سال پیشرفت محدودی داشته است. در اوایل دههٔ ۷۰ سدهٔ بیستم، کمتر از ۳٪ تولید جهانی فولاد با این روش بود. کارشناسان سیدرورژی عقیده داشتند که گرچه این روش، فعلاً نورد شمشه (بلومینگ) یا نورد تختال (اسلابینگ) را، که کار مشابهی انجام می‌دهند تهدید نمی‌کند پس از مدتی ممکن است وضع تغییر کند.

روشهای تازهٔ تصفیه: ساختار کلاسیکی تکنیکهای سیدرورژی، از دههٔ ۵۰ به‌طور وسیعی شکاف برداشته بود. بعضی از روشهای تصفیهٔ چدن به فولاد، که یادگار سدهٔ پیش بودند مورد تهدید روشهایی قرار گرفتند که از اکسیژن خالص تهیه شده در این زمان استفاده می‌کردند. کارشناسان سیدرورژی با غنیتر کردن تدریجی هوای دمهای کنورتیسورهای توماس با اکسیژن یا بخار آب، بخاطر تصفیهٔ پیشرفته‌تر و کاهش محتوی نیتروژن فلز به این موفقیت دست یافتند. در پایان دههٔ ۴۰ بدین نتیجه رسیدند که از هوای دارای ۳۰ تا ۳۵٪ اکسیژن استفاده کنند و این، امکان داد که بازده تبدیل چدن به فولاد، ۱۳٪ افزایش یابد. در مورد بخار آب دیدیم که بسمر، و پیش از او نازمیث در همان اواسط سدهٔ پیش به این روش اندیشیده بودند. بخار آب مخلوط با اکسیژن، یک سده بعد در بلژیک به‌کار گرفته شد.

اکسیژن خالص، پیش از جنگ جهانی دوم آزمایش شد، اما روشهای کاربرد آن در صنعت، کمی پس از پایان مخاصمات پدید آمدند. نخستین روش در اتریش در مناطق لینتس[1] و دوناویتس[2] در سالهای ۱۹۴۹_۱۹۵۲ پیاده شد. کاربرد آن در سالهای بعد با نام روش LD بود. روش دوم در سالهای ۱۹۴۸_۱۹۵۵ در سوئد در ناحیهٔ دمناوت[3] به توسط آقای کالینگ[4] انجام گرفت و در ۱۹۵۶ به نام روش Kaldo به بهره‌برداری صنعتی انجامید. هردو روش نسبتاً بسرعت رواج گرفتند، گرچه گرمای زیادی که در کنورتیسور با استفاده از اکسیژن خالص تولید می‌شد، پایداری تجهیزات و آستری آنها و تعیین مخلوطهای مورد عمل و غیره، از دشواریهای کار بودند. در پایان سالهای ۵۰ این دو روش در همهٔ کشورهای تولیدکنندهٔ فولاد فعال بودند و انواع دیگری از آنها نیز ساخته شدند. در همین ایام، یک روش آلمانی، به نام روش روتور[5]، بسیار شبیه Kaldo، در سالهای ۱۹۵۲_۱۹۵۶ پدید آمد، که کاربرد نسبتاً محدودی یافت و در سالهای ۶۰ به کنار گذاشته شد.

هر دو روش LD و Kaldo از کنورتیسورهای بسیار مشابه توماس، اما بدون زنبورکی که هوا

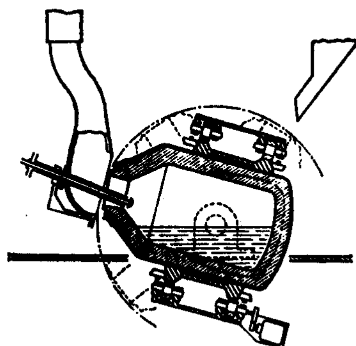
1. Linz 2. Donawitz 3. Domnavet 4. Kalling 5. Rotor



شکل ۲۷.اصول روش LD، برای تصفیهٔ چدن با اکسیژن.
در بالای کنورتیسور یک قیف و دهانهٔ بارزنی است؛ هواکشی از آجرهای نسوز دارد که جریانی از هوا آن را خنک می‌کند. این جریان هوا گازهای سوختی را به سمت چپ می‌راند. سرشیلنگ فلزی، که عمودی است، از کابلی آویزان شده است.

را از کف کوره به‌درون آن بدمد استفاده می‌کردند. اکسیژن خالص به توسط یک سرشیلنگ فلزی از راه دهانهٔ بارزنی و ریخته‌گری کنورتیسور وارد آن می‌شود و جریانی از آب آن را خنک می‌کند. در روش نخست، کنورتیسور، عمودی است و در مدت عملیات ثابت می‌ماند (شکل ۲۷). نفوذ اکسیژن در تودهٔ مذاب، در اثر فشار زیاد گاز اکسیژن، حدود ۱۰ کیلوگرم، تأمین می‌شود. اکسیژن از فاصلهٔ بسیار نزدیک به سطح فلز وارد می‌شود. در روش Kaldo، کنورتیسور، مایل قرار می‌گیرد و حول محور طول خود می‌گردد (شکل ۲۸)، این حالت، مخلوط شدن فلز و اکسیژن را، که با فشار حدود سه کیلوگرم دمیده می‌شود، تأمین می‌کند. تفاوتهای عمدهٔ دیگر این دو کوره، در اجرای عملیات آنها نهفته است.

روش به‌کارگیری اکسیژن خالص از همان آغاز، پژوهشهای متعددی را دربارهٔ تجهیزات، عملیات تصفیه و شرایط کلی کاربرد در فولادسازیها، برانگیخت. از بیست سال پیش تحول مهمی در آنها رخ داده است. پالایش با اکسیژن به اشکال دیگری هم منظماً پیشرفت داشته است. کنورتیسورهای توماس را با دمش اکسیژن خالص، به‌جای هوا، سازگار کردند. در فرانسه، تولید فولاد با اکسیژن خالص، در سال ۱۹۷۳، از مجموع تولید آن با روشهای دیگر ـ توماس، مارتن، کوره‌های الکتریکی ـ بیشتر شد و این افزایش ادامه یافت. در آلمان، تفوق روشهای اکسیژن خالص بر روشهای دیگر، چشمگیرتر بود. در کشورهای دیگر این پیشرفت، نسبت به تولید ملی آهسته‌تر



شکل ۲۸.اصول روش کالدو، برای تصفیهٔ چدن با اکسیژن.
کنورتیسور می‌تواند حول محور طولی خود بگردد، و در حالت عمودی وضعیتهای مختلفی داشته باشد. در وضعی که شکل نشان می‌دهد، اکسیژن در حالت دمیده شدن است؛ بارریزی از پایین و سمت چپ است و بار زدن چدن از بالا و سمت چپ. افزودن مواد دیگر، از بالا و سمت راست انجام می‌گیرد.

بود. حدود بیست سال است که برای ایجاد تحولی در تکنیکهای تبدیل چدن به فولاد، با همان عمق و سرعت تحولی که دقیقاً یک سدهٔ پیش انجام شد، می‌کوشند.

این جهت‌یابی تازهٔ تکنیکهای ساخت فولاد، با وجود چند تجربهٔ زودرس، هنوز در حدود سالهای ۱۹۴۰ـ۱۹۵۰ کاملاً غیرمنتظره بود. جالب است بدانیم که بعضی کارشناسان سیدرورژی ظاهراً در آن زمان، امیدهای خود را به‌طرف احیای مستقیم کانیها به فولاد معطوف داشته بودند؛ کاری که از جنبهٔ تئوری قابل درک است و پیشه‌وران کارآزموده‌ای با بعضی از کانیها، اما در مقیاس بسیار کوچکی آن را در کوره‌های بشکه‌ای، از سده‌های قبل به‌کار می‌گرفتند. تجربه گران متعددی در آغاز سدهٔ بیستم برای استفاده از آن اغوا شدند. اینان یا به کورهٔ برقی روی آوردند، مثل آقای گابریل آرنو[1]، در فرانسه در سال ۱۹۱۰ با کورهٔ شاپله؛ یا به کورهٔ زغالی و ملحقات ویژه‌ای، مثل روش آقای هوگاناس[2] در سال ۱۹۱۰ یا روش ویبرگ[3] در ۱۹۱۹ در سوئد. چنین می‌نماید که این بررسیهای اولیه تشویق‌کننده بودند. آقای پل بود، نویسنده‌ای فرانسوی در ۱۹۲۲ چنین می‌نویسد: «این مسأله که مورد بررسی آقایان زیمنس، شنو[4]، و بورکو[5] بود، گویا با روش باسه[6] در کارگاههای دنمون[7] حل شد.»

1. G. Arnou 2. Höganäs 3. Wiberg 4. Chenot 5. Bourcoud 6. Basset
7. Dennemont

مؤسسه کروپ بعدها در سال ۱۹۳۲ برپایهٔ روش آقای رن[1] برای این کار، تأسیسات نیمه صنعتی احداث کرد و تا سالهای ۵۰ به این کار ادامه داد. در سوئد از کانیهای غنی، و در آلمان از کانیهای فقیر استفاده می‌شد. شماری تأسیسات تجربی نیز در ممالک متحدهٔ امریکا بود. در بلژیک، در سالهای ۴۰ کوشیدند تا از گاز آب برای احیای مستقیم کانیها به فولاد استفاده کنند. همهٔ این اقدامات سرانجام به دلایل اقتصادی کنار گذاشته شدند و کوره‌های بلند برجای ماندند. این تجربه‌ها دامنهٔ گوناگونی تحقیقات در متالورژی را نشان می‌دهد. راههای بی‌حاصل در بعضی ادوار، همیشه فوراً محکوم نمی‌شوند.

متالورژی گرد فلزات: درگذشته، مسائلی چند را، که پیاپی پدید آمدند و غالباً در متالورژی حل می‌شدند و در تغییر شکل بنیادی سیمای این رشته، در آغاز سدهٔ بیستم نقش داشته‌اند ناگزیر به سکوت برگزار کردیم. گفتار خود را با یادآوری کوتاهی از مسأله‌ای پایان می‌دهیم که در گشایش تکنیکهای متالورژیکی در دهه‌های اخیر نقش داشته است و آن آماده‌سازی گرد فلزات و درهمجوشی فلزات یا مخلوطهای فلزی است و شامل گرم کردن گردهای تحت فشار در کورهٔ برقی، معمولاً در جوّ گازی ویژه و گاهی در خلأ می‌باشد.

هستهٔ اصلی این عملیات در سدهٔ پیش شناخته شده بود. در سال ۱۸۲۹ آقای وولاستن[2] بی‌شبهه نخستین کسی بود که با گرد پلاتین کار کرده است، و آقای کولیج در ۱۹۰۹ از آن روش برای تهیهٔ تنگستن که در گرمای ۱۳۰۰ درجه از گرد فلزی آغشته به آمونیاک و تحت فشار ۱۰۰۰ اتمسفر به‌دست می‌آید استفاده کرد. همچنین دیده شد که از این روش برای کلوخه‌سازی بعضی کانیهای آسیا شده بهره گرفته‌اند.

صلایه کردن یا به زبان کنونی اتمیزاسیون با روشهای گوناگون شیمیایی یا فیزیکی انجام می‌گرفت. تجزیهٔ کربنیل‌آهن یا کربنیل‌نیکل طبعاً بسرعت پذیرفته شد. یکی از نخستین فلزاتی که به مقدار زیاد صلایه شد آلومینیم بود که گرد آن در همان اوایل برای تهیهٔ فراورده‌های آستری قطعات فلزی به‌مصرف می‌رسید.

نخستین گسترش متالورژی کنونی گرد فلزات، حدود ۱۹۳۵ بوده است، اما رونق آن تنها، پس از جنگ دوم جهانی بود. روش درهمجوشی نیز برای به‌دست آوردن برخی از فلزات، بویژه آهن به‌شکل دانه‌های بسیار ریز، برای ساخت آهنرباها به‌کار گرفته شده است. این نوع آهن، در جنب آلیاژهای آهن ـ آلومینیم ـ نیکل که با روش درهمجوشی تهیه می‌شوند، از سال ۱۹۳۲ اهمیت زیادی یافته است در ساخت آهنرباهای مصنوعی رواج فراوان دارد.

1. Renn 2. Wollaston

درهمجوشی همچون روش بسیار مناسبی جهت ساخت آلیاژهای گوناگون خود را نشان داده است. پدیده‌های مربوط به فلزات درهمجوش، با روش آنالیز گرمایی، که درگذشته از آن سخن راندیم، با خمهای معمولاً پیچیدهٔ خود، بررسی شده‌اند. روش درهمجوشی برای تهیهٔ آلیاژهای مس ـ گرافیت، خود رونواز *autolubrifiant* و آلیاژهای کربیدهای گوناگون فلزی با کبالت، نیز بسیار ارزشمند است. تولید این آلیاژها کمی پیش از آغاز جنگ جهانی دوم در مؤسسهٔ کروپ برای ساختن ابزارهای برشی با سختی زیاد بررسی شد؛ کاربرد این ابزارها برای کار کردن روی چدن، شیشه و مواد پلاستیکی است. از این زمان، درهمجوشی همچون روش رایجی برای ساخت قطعات مکانیکی و نیز تهیهٔ شمار فراوانی فراورده‌های با کیفیت ویژه، پذیرفته شده است.

آثار تحول تکنیک: تحول کلی همهٔ تکنیکهای تولیدی آثار بسیار گوناگونی روی صنایع متالورژیکی گذاشته است. پیدایش روشهای تازهٔ جداسازی بسیار ارزان، مؤسسات را همواره ناگزیر به نوسازی تجهیزات خود، بخاطر حفظ مقام شایسته، یا به سخن ساده‌تر، بقای خود می‌کند. این سرمایه‌گذاریهای ناگزیر، تمرکز روزافزون را در هر شاخهٔ تولیدی تحمیل می‌کنند. از زمان جنگ جهانی دوم، مسألهٔ تجهیزات فوق‌العاده، سبب شد که اتحادیه‌های ملی بین گروههای بزرگ ایجاد شوند، سپس کنسرنهای جهانی در سطح منطقه پدید آمدند تا نظم تولید در اثر نوسانات بازار آشفته نشود.

در طول دهه‌های اخیر، رقابت بین دو نوع سیدرورژی بالا گرفت: سیدرورژی کشورهای غرب اروپا و آنگلوساکسون‌ها، که کار خود را در مواردی متحول ساخته بودند، اما به‌طورکلی بر مبانی ساختارهای پیشین که از سدهٔ پیش به یادگار مانده بود قرار داشت، گرچه بتدریج نوآوریهای سدهٔ بیستم را می‌پذیرفتند؛ سیدرورژی کشورهایی مانند ژاپن، آفریقای جنوبی، ایتالیا، اتحاد جماهیر شوروی [سابق] و کشورهای شرق اروپا، که پس از جنگ جهانی دوم، نوسازی شده بودند.

عوامل دیگری نیز در تغییر رشتهٔ سیدرورژی تأثیر عمیق داشتند. به پایان رسیدن تقریبی رگه‌هایی از کانیها و کاهش چشمگیر بهای حمل‌ونقل، جغرافیای استخراج معادن و حتی کارخانه‌ها را بکلی تغییر دادند. در فرانسه، اهمیت سنتی حوضهٔ لورن بسرعت کاهش یافت و توزیع تازهٔ جغرافیایی پدید آمد، زیرا مثلاً کشورهای دیگر، به «سیدرورژی ساحل دریا» با ایجاد مجتمعهای دونکرک در کنار دریای شمال و نیز مجتمع فوس[1] درکنار دریای مدیترانه، روی آوردند.

رده‌بندی کشورهای تولیدکننده طی یک سده منظماً در تغییر بوده است. در مورد سیدرورژی، تولید فلزات تصفیه‌شده در ۱۸۷۰، بریتانیای کبیر در رأس، سپس آلمان، فرانسه و ممالک متحدهٔ امریکا جای داشتند. کشورهای اخیر بیست سال بعد در ردیف دوم جای گرفتند. روسیه که در آن

1. Fos

زمان پس از فرانسه قرار داشت در سال ۱۹۰۰ به ردیف چهارم رانده شد. ممالک متحدهٔ امریکا در ۱۹۰۰ ردیف نخست را از آن خود کرد، آلمان در مقام دوم جلوتر از انگلیس؛ سپس به ترتیب، روسیه و فرانسه بودند. دو تولیدکنندهٔ مهم پس از جنگ خودنمایی کردند. ژاپن که نخستین کورهٔ بلند خود را در ۱۹۰۱ ساخته بود و در سال ۱۹۳۹ حدود ۷۶۰۰۰۰۰ تن محصول داشت، کمی بیشتر از محصول بریتانیای کبیر در ۱۹۰۰ بود، از عواقب جنگ جهانی دوم بشدت تکان خورد. در سال ۱۹۵۰ اوجگیری این کشور، چشمگیر بود. تولید این کشور در ۱۹۵۹ از فرانسه فراتر رفت، و در ۱۹۶۰ از بریتانیای کبیر، و بالاخره در ۱۹۶۵ از آلمان غربی و سرانجام در ۱۹۷۳ به تولید امریکا و روسیه نزدیک شد.

ایتالیا در سال ۱۹۵۲ هفتمین کشور تولیدکننده بود اما در ۱۹۷۴ از بریتانیای کبیر پیش افتاد. پیشرفت اتحاد جماهیرشوروی [سابق]، حدود بیست سال است که منظماً ادامه دارد. نوسانات تولید امریکا سبب شد که در ۱۹۷۱ با اختلاف ۱۲۰ میلیون تن دربرابر ۱۱۳ میلیون، برای نخستین بار شوروی پیشی گیرد، اما در ۱۹۷۴ شکوفایی صنعت در امریکا با تولیدی کمی بیش از ۱۳۶ میلیون تن، از مجموع محصول جهانی ۷۰۹٫۶ میلیون تن، باز مقام نخست را به‌دست آورد.

دربارهٔ فلزات دیگر باید گفت که تولید فولاد پیشاپیش بقیه جای دارد، پس از آن با فاصلهٔ زیادی آلومینیم است که تولید آن در ۱۹۷۰ کمی بیش از ۱۰ میلیون تن (در برابر ۶۰۰ میلیون فولاد) بود؛ پس از آنها نوبت به مس، روی، سرب و نیکل می‌رسد. در مورد نیکل باید گفت که تولید جهانی آن در ۱۹۷۰ هزار بار کمتر از تولید جهانی فولاد بود.

تحول روشها و تجهیزات، مکانیزاسیون و اتوماسیون پیشرفته نیز آثاری بر ساختار اجتماعی مؤسسات گذاشته‌اند. مثالی می‌تواند از این بابت، تصوری به ما بدهد. درحالی‌که مجموع کارکنان مؤسسات سیدرورژی فرانسه، به‌طور محسوسی ثابت مانده است، شمار کارگران و شاگرد کارگران کمی بیش از ۱۱٪ کاهش یافت، درحالی‌که شمار سرکارگران و کارمندان بیش از ۵۴٪ بالا رفت. گروه نخست که ۸۰٪ کارکنان مزدبگیر را در ۱۹۶۵ تشکیل می‌دادند در سال ۱۹۷۵ بیش از ۷۰٪ نبودند، درحالی‌که گروه دوم از ۲۰ به ۳۰٪ افزایش یافتند.

کتاب‌شناسی

کتاب‌شناسی بخش اول

Association technique de la Sidérurgie française, *La fonte et l'acier*, Paris, 1970.
BASTIEN (P.), Les industries métallurgiques, in *Cinquante ans de perfectionnement technique*, 1952.
BELTZER (Francis J. G.), *La chimie industrielle moderne*, t. II, Paris, 1911.
CHARPY (G.), L'évolution de la sidérurgie de 1880 à 1930, *Génie civil*, numéro spécial du cinquantenaire, 1930.
DELBART (G.), Les progrès en sidérurgie, in *Cinquante ans de perfectionnement technique*, 1952.
ESCARD (J.), *Fours électriques*, Paris, 1905 et 1924.
GUILLET (L.), *Les grands problèmes de la métallurgie moderne*, Paris, 1943.
GRUNER (M. L.), *De l'acier et de sa fabrication*, Paris, 1867.
JANNETTAZ (P.), *Les convertisseurs pour cuivre*, Paris, 1902 (extrait des *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France*).
MINET (A.), *Les fours électriques et leurs applications*, Paris, *cc.* 1899-1900.
Rapports annuels de la Sidérurgie française, Paris.
VIAL (J.), *L'industrialisation de la sidérurgie française de 1814-1864*, Paris, 1967.
WAGNER (R.), FISCHER (F.) et GAUTHIER (L.), *Traité de chimie industrielle*, t. I, Paris, 1901 (4e éd. franç., 15e éd. allemande).

بخش دوم

وسایل مکانیکی جابه‌جایی و ساختمان

۱

زمانسنجی

ساعت‌سازی، این انقلاب صنعتی، پس از کارهای مقدماتی طولانی، از سال ۱۸۸۰ به‌پیش رفت، درحالی‌که بقایای صنعت ابتدایی آن تا سال ۱۹۳۹ برجای بودند. این حالت بدین معنی است که مدت نیم سدهٔ کامل، دو مجموعه از روشها، یا بهتر است بگوییم دو جهان مختلف،گرچه با تصادمات و ناراحتیها، اما به هر حال همزیستی داشتند. از دید یک مشاهده‌گر، درون جهان ساعت‌سازی، اعتقاد به پیشرفت یا انحطاط، ایمان به آینده یا تأسف از گذشته وجود دارد. اگر بواقع سخن گوییم، این پیشرفت یا انحطاط طبق نظر مؤسسات: غنی شدن یکی و فقر دیگری است. اما، به هر حال، در این دوره، ما شاهد گسترش فنی و درعین‌حال صنعتی هستیم و اثری از بحران نیست.

یک ساعت با دنگ امروزی، در ساخت و کارکلی از یک ساعت بادنگ مربوط به ۷۵ سال پیش تفاوتی ندارد؛ تفاوت آنها در نحوهٔ تولید است که از ریشه تغییر کرده است. یکی ثمرهٔ نوعی ساخت حرفه‌ای با میزان کردن دستی قطعات در جای خود است و دیگری از کارخانه‌ای خارج می‌شود که این تنظیم، در سایهٔ یکسانی قطعات در محدودهٔ خطای مجاز از پیش وجود داشته است. آیا می‌توان با این ترتیب گفت که در ساعتهای جدید از نوآوریهای تکنیک خبری نیست؟

درواقع، در این مورد، و اصولاً در دستگاه تنظیم‌کننده، که جان کار ساعت است این نوآوری وجود دارد؛ مثلاً برای فنر مارپیچی که تنظیم‌کنندهٔ ساعت است از فلزات جدید و آلیاژهای پیشرفته‌ای استفاده می‌شود که نتیجهٔ تحقیقات بنیادی آقای شارل ادمون گیوم مخترع اینوار در ۱۸۹۷ می‌باشد.

پیشرفت ساعتهای الکتریکی مرهون دستگاه رقاصک اختراعی آقای شارل فری است. بنابراین، کارهای آزمایشی سدهٔ نوزدهم در این زمینه بیهوده نبوده‌اند. نوآوری اساسی ساعتهای الکتریکی، تعمیم شبکه‌های ساعتهای همزمان است که هم در صنعت و هم در تحقیقات علمی و هم در رصدخانه‌ها به‌کار می‌آیند.

با پایان گرفتن جنگ جهانی اول، تکنیکهای تلگراف بی‌سیم در صنعت زمانسنجی وارد شد، اما این تکنیکها را هنوز نمی‌شد الکترونیکی نامید. در این کار، نخست از نشانه‌های ساعتی، یا به‌عبارت دقیقتر از رادیو استفاده شد، سپس اندازه‌های بسامد با اندازه‌های زمان در یکدیگر نفوذ کردند و سرانجام، پس از دورهٔ طویلی انتظار، زمان ساعتهای جدید فرارسید که قطعهٔ تنظیم‌کنندهٔ آن، دیگر نه یک فندول، که یک لرزه‌گر جامد، نخست یک دیاپازون، سپس میله‌ای از کوارتز بود.

ساعتهای کوارتزی دیواری، حدود ۱۹۳۰ ساخته شدند و حدود سال ۱۹۳۵ با نام لحظه‌شمار (کرونومتر) مورد استفاده قرارگرفتند و از بهترین ساعتهای مکانیکی پیشی گرفتند. شهرت ساعتهای کوارتزی در سال ۱۹۳۹ از این هم فراتر رفت و بالاخره پس از جنگ‌جهانی دوم به‌عنوان ساعت معیار قانونی شناخته شد.

از این زمان است که تحول ساعت‌سازی از جنبه‌های گوناگونی آغاز شد. در ساعتهای معمولی، مکانیسمهای سنتی نو شدند و برای پاسخگویی به نیازهای گوناگون، پیوسته متحول می‌شوند. برای اندازه‌گیری و پژوهش علمی، راه‌حلهای انقلابی به‌کار گرفته شد و تعریف و اندازه‌گیری زمان، به درجه‌ای از دقت بالا رفت که در آن زمان عجیب و باورنکردنی می‌نمود. از پدیده‌های اتمی، ساعتهای بسیار ظریف و بسیارکامل ساخته شدند. بدین‌ترتیب، از اتمها، که بی‌حرکت و ابدی فرض می‌شدند، به‌عنوان دستگاه تنظیم‌کننده استفاده شد.

به‌طوری‌که معلوم است دقت در اندازه‌گیری، تعدادی پدیدهٔ بی‌تردید را برای ستاره‌شناسان و فیزیکدانان آشکار ساخته است: یکی از مهمترین آنها تغییرپذیری حرکت وضعی زمین است که از مدتها پیش به عنوان کمال در تغییرناپذیری تلقی می‌شد.

اختراعات مکانیکی: چه چیزی در سال ۱۸۵۰ در ساعت‌سازی نقص داشت؟ معاصران ما، مشتاقان قطعات کمیاب و تهورآمیز مکانیکی، از ابتذال ساعت‌سازی «بورژوا» اندوهگینند و با تلخی

انحطاط درمان‌ناپذیر آن‌را پیشگویی می‌کنند: این طرز فکر را آقای پیردوبوا[1] در کتاب *Histoire de l'horlogerie* (۱۸۴۲) خود بخوبی نشان داده است. اما اشخاص خوشبین به این پیشرفت باور دارند، گرچه آن را محدود می‌بینند: پس از شکوفایی سدهٔ هجدهم، دیگر چه چیز می‌توان اختراع کرد؟ شمار بسیار کمی با برق سروکار دارند، و به‌شمار کمتری از آنها در اینجا می‌توان امیدوار بود.

درواقع، عصر «اختراعات هنری»، یعنی ترکیبات صرفاً سینماتیک، متحول شده است: پیشرفت در ساعت‌سازی روی دینامیک قطعهٔ تنظیم کننده است. در سال ۱۸۵۰ رقاصک مارپیچی در این رابطه کار زیادی کرد. بزرگترین عیب آن فقدان همزمانی بود، یعنی این حالت که کار آن به‌هیچ‌وجه مستقل از دامنهٔ آن نبود ـ چیزی که تئوری اولیه به آن نظر داشت. تنظیم‌گرها از مدتها پیش، به اهمیت دو بخش انتهایی مارپیچ در این مورد اشاره می‌کردند؛ قسمت میانی که روی رقاصک جای دارد و قسمت بیرونی مجاور سر ثابت آن است. در سال ۱۸۶۱ بود که آقای ادوارد فیلیپس (۱۸۲۱ـ۱۸۹۹) شرایط لازم برای هر دو «خم انتهایی» جهت دستیابی به بهترین همزمانی ممکن را تعیین کرد؛ یعنی برای اینکه خطای مانده، نسبت به تغییرات دامنه در ردیف به‌اصطلاح «بی‌نهایت کوچک» باشد. کارهای فیلیپس، با رسم تعداد هر چه بیشتر خمهای انتهایی مورد نظر تنظیم‌کننده‌ها، بدقت تفسیر شدند. با این‌حال، تئوری مارپیچ به طور دقیقی عملی نشد و ناگزیر به تقریب کم‌وبیش معقولی بسنده کردند. باید منتظر سده بیستم می‌شدیم تا با قلم آقای ژول هاگ[2] (۱۸۸۳ـ۱۹۵۳) در Bulletin de la Socie'te' mathe'matique de France (۱۹۲۸ـ۱۹۳۰) نظریهٔ جامع و از لحاظی قطعی ـ در مقیاسی که فرضیهٔ تناسب نیروها با تغییر شکلها (الاستیسیتهٔ «خطی»)، در شرایط فیزیکی کار مارپیچ صدق می‌کند ـ این مسأله را بیابیم. اکنون دقیقاً می‌دانیم که در مارپیچها، تغییر شکل دیگر خطی نیست مگر اینکه همزمان جبران گرمایی و همزمانی مجموعهٔ رقاصک ـ مارپیچ ـ ابزار فرار رعایت شود. ما دقیقاً در همین‌جا زمینهٔ این اختراع مکانیکی را رها می‌کنیم تا به زمینهٔ اختراع فیزیکی آن گام بگذاریم که دقیقاً به شرایط محلی این وسیله وابسته است.

آیا دستکاریهای پیاپی ابزار فرار دنگی یا افزایش کوک خودکار ساعت را می‌توان اختراع نامید؟ آری، اما در یک مقیاس بزرگ، زیرا حتی اگر اصل آنها قدیمی باشد، تکنیک نوین، این مکانیسمها را کاملاً از نو خلق کرده است و سادگی و ضمانت لازم برای کارهای صنعتی را به آنها داده است. باید به مکانیسمهای ثانیه‌شمار (کرونوگراف) و دقیقه شمار نیز، که مخترع نخست آنها آقای برگه است ـ اما شکل قطعی خود را در سالهای پایانی سدهٔ نوزدهم به‌دست آوردند ـ جای شایسته‌ای

1. P. Dubois 2. Jules Haag

داد. ساعتهای کرونوگراف دارای ثانیه‌شماری هستند که آن را آزاد و متوقف می‌کنند؛ به‌دلخواه روی صفر می‌گذارند؛ و حال آنکه دقیقه‌شمار، دقیقه‌ها را جمع می‌زند، یعنی دورهایی که ثانیه‌شمار آزاد شده پیموده است. ساعتهای de'doublante rattrapante دو عقربهٔ ثانیه‌شمار دارند که با هم آزاد می‌شوند: یکی از آنها را هر وقت بخواهند متوقف می‌کنند، درحالی‌که دیگری حرکت را ادامه می‌دهد و بعداً می‌تواند آن را به‌فوریت بگیرد. این ساعتها که همیشه به تعداد زیاد ساخته شده‌اند اکنون هم از نظر طرح و هم از لحاظ ساخت ماشینی آنها به تعداد زیاد، به مرحلهٔ تکامل رسیده‌اند. این دستگاهها، چه دختر و چه مادر، از نظر پیشرفت مکانیکی، واقعاً خصیصهٔ ویژهٔ ساعتهای نوین را دارند.

در سدهٔ نوزدهم، مکانیک ساعتهای دیواری از مکانیک حجم زیاد، مقدار چشمگیری پیش افتاد. این پیشرسی تا حدودی مسؤول عیوب آن است و درکشورهای قدیمی ساعت‌ساز، به درجات مختلفی باعث عقب‌ماندگی یا سازش با پیشرفتهای تازه شده است. ممالک متحدهٔ امریکا در شکوفایی کامل تکنیکی و صنعتی و آزاد از سنتهای فلج‌کننده، خود را برای جهش بزرگ از «ابزار» (به لفظ ساعت‌سازهای قدیمی: عملیات انفرادی و کار آهسته) به ماشین (عملیات مرکب و آهنگ سریع) آماده کرد. از میان پیش‌آهنگان این صنعت می‌توان از اینگولد، مستقر در نیویورک از سال ۱۸۴۴ و آرون ل. دنیسن[1] (۱۸۱۲ـ۱۸۹۵) نام برد که کارهای آنها در نمایشگاه فیلادلفی سال ۱۸۷۶ در ساخت ساعت، انقلابی پدید آورد. واکنشهای اروپاییهایی که از این نمایشگاه دیدن کردند بسیار متفاوت بود: درحالی‌که اکثر فرانسویان (در رأس تولید صنعت ساعت‌سازی آن دوران)، تنها شانه‌های خود را بالا انداختند، سویسی‌هایی که کمی پس از هموطنان مهاجر خود، قضاوت کرده بودند صنعت ساعت‌سازی خود را بر پایه اصول نوین، نوسازی کردند. علت سقوط ساعت‌سازی در فرانسه و پیشرفت این صنعت در سویس، نه به‌طور یکنواخت اما به‌طور پیوسته تا سال ۱۹۴۰ را می‌توان در این دو نوع رفتار دانست. از این زمان به بعد، ساعت‌سازی سویس در کار خود سستی نشان نداد، ساعت‌سازی فرانسه هم به تلاشی جدی دست زد.

دنباله‌روی از طرحی که از پیش تهیه شده است و احترام به قواعد مستقر، در ساخت ساعتهای دیواری، بیش از صنایع دیگر کار دشواری است. رشتهٔ متالورژی تا مدتها مورد اعتماد نبود، ساعت‌سازها از واحدهای طول، تنها با «خط» آشنا بودند که تعریف زیاد دقیقی نداشت و اجزای آن نیز با هم نمی‌خواندند (گاهی دوتایی، زمانی ده یا دوازده‌تایی، برحسب کاربردهای کمتر رسمی، اما پا برجا)، که آثاری از آنها در زبان باقی‌مانده است.

1. Aaron L. Dennison

کاربرد سیستماتیک مختصات، برای تعیین محل قرار دادن محورهای چرخدنده‌ها و نقاط مهم دیگر ساعت را می‌توان یک پیشرفت واقعی در امر دقیقتر و عقلائی کردن این رشته دانست. انتقال نقاط براساس مختصات آنها به کمک ماشین متهٔ سری‌کاری انجام می‌گیرد که حدود سال ۱۹۱۰ ساخته شد و بتدریج تبدیل به پایه‌ای شد که همهٔ مرغوبیت ساخت ساعت بر آن تکیه دارد. این روش کار، اکنون برای هر دستگاه مکانیکی، با هر حجمی، اجرا می‌شود.

برای کار کردن ساعت جیبی و بویژه قطعات ظریفی از آن‌که در تنظیم ساعت یا ابزار فرار به‌کار می‌روند، تثبیت از پیش خطای مجاز، کار اطمینان‌بخش آن‌را، گرچه نه برای همیشه، تضمین می‌کند. در واقع برای اطمینان از کار دقیق ساعت در وضعیت بسیار نامساعد (وضعیتی که همهٔ خطاها از یک جانب هستند)، باید خطای مجاز را تا آنجا که دشواری کار و هزینهٔ تولید اجازه می‌دهد، کوچک گرفت.

به بیان دیگر، چون با قطعات بسیارکوچکی سروکار داریم، یک خطای مطلق حداقل در ظاهر، امکان خطای نسبتاً قابل‌توجهی را به‌وجود می‌آورد. بدین‌ترتیب، این قطعات که با خطای مجاز معینی ساخته شده‌اند باید در جریان سوار کردن، از اجرای عملیات تصحیح کار هم غافل نبود. به‌حداقل رسانیدن شمار این عملیات، تأمین حداکثر کارایی آنها برای یک زمان معین و کاستن از دشواری اجرای کار، بخشی از هنر صنعت ساعت‌سازی است.

دو نوع اصلی ساعت‌سازی، سنتی شده‌اند: کارگاهی و انفرادی. در نوع اخیر، قطعهٔ خام از کارخانهٔ مربوطه گرفته می‌شود و بقیهٔ قطعات دیگر را سازنده از بیرون می‌خرد و کار او، صرفاً سوار کردن و تنظیم آن است. در نوع کارگاهی، خود ساعت‌ساز، قطعهٔ خام را با تعداد کم و بیش زیادی از قطعات دیگر می‌سازد و ساعت را تکمیل می‌کند. تمرکز عمودی کامل، به‌معنای ساخت همهٔ قطعات، بدون استثنا، در یک کارگاه، نادر است: گاهی در امریکا این وضع دیده می‌شود، اما در اتحاد جماهیر شوروی [سابق] اخیراً بسیار زیاد بوده است.

ساخت ساعت هر طورکه انجام گیرد، هرکدام از عملیاتی که یک قطعهٔ فلزی را به قطعهٔ نهائی تبدیل می‌کنند با ماشین خاصّی انجام می‌گیرند که خوراک رسانیدن به آن رفته‌رفته خودکار می‌شود و کار، با کنترلهای متعدد اندازه‌گیری ادامه می‌یابد. تحولی برای خودکار ساختن زنجیرهٔ عملیات در راه است، انتقال قطعات از محلی به محل دیگر بدون دخالت دست انجام می‌گیرد و نتایج کار، به‌طور خودکار، کنترل و اصلاح می‌شود.

در اروپای غربی، کشورهای ساعت‌ساز، مثلث به‌هم فشرده‌ای را تشکیل داده‌اند که سه رأس آن

ژنو، بزانسون، پفورتسهایم[1] هستند و دو ضلع آن فرانسه و سویس، از ژورا با بخشی از ساووا و تقریباً همهٔ فوره‌نوار. چند هستهٔ سنتی بیرون از این مثلث می‌مانند (ساخت زمانسنجهای کشتیها، هیچ‌گاه در لندن، پاریس، هامبورگ و گلاسهوته[2] تعطیل نشد؛ و نیز ساعت‌سازی در ناحیهٔ دیپ سابقهٔ طولانی دارد). اینک صنایع ساعت‌سازی معظمی در جهان، بویژه در ممالک متحدهٔ امریکا، اتحاد جماهیر شوروی [سابق] و ژاپن تأسیس شده‌اند. از کانونهای تمدن بیرون از اروپای غربی، تنها ژاپن در توکوگاوا[3] در ساعت‌سازی، مختصری نوآوری داشته است، اما ژاپن امروزی در پخش قطعات جدید تنظیم‌کننده و ساخت ساعتهای الکترونیکی، سهم مهمی دارد.

در تحول ساعت جیبی در سدهٔ بیستم می‌توان (صرفاً از لحاظ راحتی عرضه) دو گرایش را تشخیص داد: یکی به‌سوی یکسان شدن، دیگری به‌سوی تنوع.

گرایش نخست، ظاهرش در زیر نقاب چندگونگی (بسیار، به عقیده تکنسین‌ها) به‌اصطلاح «کالیبر» نهفته است، و به سلطهٔ بلامنازع کارکردن با دنگ و حذف ابزار فرار استوانه‌ای قدیم، و بقیه ابزارهای فرار، می‌انجامد. گرچه اصل این مکانیسم، عمومی است، ساخت آن، دو نوع کاملاً متمایز است، «دنگ سنگدار» که یاقوت دارد و برای همهٔ ساعتهای ارزشمند به‌کار می‌رود، درحالی‌که دنگ میخدار، کاملاً فلزی است و مخصوص ساعتهای ارزان است. گرچه برنامهٔ کلی همهٔ حرکتها بسیار یکسان است، تنوع در شکوفایی ساعتهای خود کوک و مد شدن دوبارهٔ ساعتهای چندکاره (وقت نگهدار، تقویمدار) جلوه‌گر است. درحقیقت، هیچ‌یک از اینها «تازه» نیستند و همهٔ این مکانیسمها در سدهٔ هجدهم اختراع یا طرحریزی شده بودند. تنها پیشرفت در ساخت ماشینی آنها بود که انتشار آنها را در سالهای ۱۹۳۰ـ۱۹۴۰ سبب شد.

آیا لازم است که پیدایش ساعت مچی را در زمان جنگ ۱۹۱۴ـ۱۹۱۸ به ساعت‌سازان «خبره» یادآوری کرد که همگی با بدبینی به آن می‌نگریستند و عدم تنظیم رضایتبخش آن را پیشگویی می‌کردند؟

جفت و جذب بودن ساعت نیز پیشرفت مهمی بود که در آغاز، نسبی می‌نمود اما اکنون از نظر گرد و غبار، بسیار اساسی ارزیابی می‌شود و در ساعتهای مخصوص غواصان اهمیت مطلق دارد. چند ساعت‌ساز، ساعتهایی ساختند که محوطهٔ درونی آن را خلأ کردند؛ کاری که برای دقیق کار کردن ساعت و ادامهٔ حرکت آن بسیار مفید است. ادامهٔ کار ساعت، بستگی زیادی به روغنکاری با دوام دارد. همهٔ ساعتها زمانی‌که از کارگاه خارج می‌شوند و «روغنها» تازه هستند، بسیار خوب کار می‌کنند: خشک شدن تدریجی روغنها، همواره بلیه‌ای برای ساعتها بوده است و روغنکاری

1. Pforzheim 2. Glasshütte 3. Tokugawa

بادوام آنها، مسألهٔ حادی است که هنوز دامنگیر ساعتهای تمام مکانیکی است، شاید این مسأله با مصالح خود لغزنده، که بعضی از آنها اکنون کاملاً شناخته شده و بقیه در حال بررسی هستند حل شود. کاربرد همگی آنها در ساعت‌سازی، کاری بسیار ظریف است.

اختراع آلیاژ اینوار و پیامدهای آن: گرچه اختراعات صرفاً مکانیکی درگذشتهٔ نزدیک بسیار کم هستند پیشرفت اختراعات مبتنی‌بر پیشرفت فیزیک، برعکس مربوط به دورهٔ معاصر است. آقای گیوم در ۱۸۹۶ در دفتر بین‌المللی اوزان و مقادیر، به‌خاطر ساخت خطکشهایی مخصوص اندازه‌گیری طول، به بررسی انبساط طولی آلیاژهای آهن و نیکل پرداخت. وی در آن زمان دریافت که با ۳۷٪ نیکل، انبساط طولی، کمترین مقدار را دارد. انبساط این آلیاژ، حدود ده بار کمتر از دیگر فلزات شناخته شده است. این آلیاژ را آقای توری در سال ۱۸۹۷، اینوار نام نهاد.

مسألهٔ مقابله با گرما که استعدادهای فکری برای آن از همهٔ وسایل موجود استفاده کرده بودند، فردای آن روز بکلی دگرگون شد. با به‌کار گرفتن میله‌ای از آلیاژ اینوار با جرم آونگی از فولاد برپایهٔ اصل آونگ جورج گراهام (میلهٔ فولادی، جرم جیوه‌ای) توانستند مقابلهٔ بسیار خوبی داشته باشند و پیشرفت جالب‌توجهی، به‌این‌دلیل ساده که همهٔ ضریبهای انبساط مؤثر درکار، به‌حدود یک‌دهم مقدار اولیهٔ خود کاهش یافتند به‌دست آید.

آلیاژ اینوار به یک قطعهٔ اساسی زمانسنجی و نیز اندازه‌گیری طول تبدیل شد. از این هم بهتر، خواص جالبی که آقای شارل گیوم را به پیگیری بررسی فرونیکلها ترغیب کردند در ۱۹۰۳ به کشف الینوار انجامید: انبساط طولی آن جالب‌توجه نبود، اما ثابتهای کشسانی آن با بالارفتن دما بسیار کم تحت تأثیر قرار می‌گرفتند. این بار، مسألهٔ مقابلهٔ گرمایی سیستم رقاصک مارپیچی بود که باز مطرح شد.

از این دو اختراع، آلیاژ الینوار جالبتر بود و دریافت جایزهٔ نوبل ۱۹۲۰ در فیزیک را برای او به ارمغان آورد و نقطه آغازی برای تحقیقات بعدی شد. این اختراع، انگیزهٔ پژوهشهایی شد که هنوز ادامه دارند و ثمرهٔ آن گروهی از آلیاژها با خواص کشسانی جالب‌توجه هستند و نیز پدیده‌های انبساط، نابهنجاریها و همچنین رابطهٔ آنها را با خواص مغناطیسی تا حدود زیادی توضیح داده‌اند.

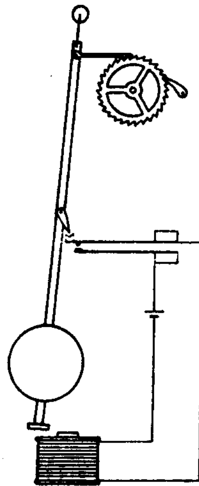
آلیاژ اولیهٔ اینوار، از جنبهٔ پایداری نقص بزرگی داشت و خودبه‌خود در چند ماه یا چند سال، چند میلیونیم کشیده می‌شد که برای اندازه‌گیریهای طول یا زمان مقدار زیادی است. این پدیده در پرتو پژوهشهای مدید و دقیقی، که بویژه آقای شونار در آنها شرکت داشت روشن شد. مسؤول اصلی این نابهنجاری، کربن محلول در آهن است که با کندی زیاد جدا می‌شود. در آلیاژ الینوار

نوین، آثار کربن حذف ناشده، با افزایشهای گوناگون، به‌شکل کربیدهای پایدار تثبیت می‌شوند: این فلز با انبساط بسیار نزدیک به صفر، پایداری عالی دارد. آلیاژ الینوار هم به توسط آقایان گیوم، شونار و دیگران اصلاحات زیادی را متحمل شد و اخلاف متعددی از آلیاژها، از نظر ساختار و فیزیکو شیمیایی بسیار پیچیده (با نامهای تجارتی بسیار گوناگون: durinval, nivarox و غیره) اختراع شد که خواص کشسانی آنها طوری هستند که با تغییرات دما مقابله و نیز ایزوکرونیسم (ثبوت زمانی) آونگی را که به آنها وصل است تأمین کنند ـ خاصیتی که به توسط عملیات حرارتی واحد و با اجرای بسیار ساده ایجاد می‌شود. ساخت مکانیکی ساعتهای دیواری قدیمی، به روش خود، در آن سلیقهٔ کلی، که کمتر به شکل خارجی و حرکتهای قطعات نظر دارد، مؤثر بوده است ـ سلیقه‌ای که (بناحق) همچون ایده‌آل (تغییرناپذیری) قلمداد شده است و از این بالاتر به خواص درونی اجسام واقعاً جامد، یعنی در کلام آخر، به بلورهای فلزی توجه دارد.

ساعتهای دیواری برقی: ساخت ساعتهای برقی، ریشه درگذشتهٔ دور دارد، این ادعا بر این فرض متکی است که امتیاز اکتبر سال ۱۸۴۰ آقای الگزاندربین انگلیسی را شروع آن بدانیم. کوشش پیشگامان، نتایج آنچنان زیادی نداشت، اما آزمایشهای بین به موفقیت انجامید؛ حتی اشارات سرچارلز ویتستون که سهم برجسته‌ای در الکتروتکنیک و تلگراف دارد، هم ارزش چندانی نداشتند. با این حال، شماری از اختراعات اساسی ساعت‌سازی برقی غیرمنتظره بودند: ابزار فرار آقای ماتیو هیپ[1] از سن ـ گال[2] (در سویس) که در ۱۸۴۲ اختراع شد (شکل ۱). باز، در ۱۸۴۷ بود که آقای فوکو نخستین همزمانی برقی یک آونگ را تحقق بخشید.

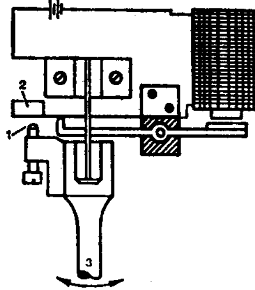
این مخترعان از آغاز برای بهره‌گیری از نیروهای بدون اصطکاک، که انگیزهٔ پدیده‌های برقی و مغناطیسی هستند، تلاش می‌کردند. آنها با کنار گذاردن اثرات الکتروستاتیکی که کمتر می‌توان در آنها تأثیر گذاشت، به‌کار برد مغناطیسهای برقی روی آوردند ـ وسایلی که در مرحلهٔ نخست ساخت ساعتهای الکتریکی، به‌عنوان قطعهٔ اصلی این صنعت قلمداد می‌شدند. انتظاری که از این قطعه داشتند کارهای فرعی (کوک کردن فنرها یا وزنه‌ها، زنگ ساعت، حرکت عقربه‌ها) بود و بعدها کوشش شد تا وظیفهٔ ابزار فرار نیز به آن محول شود. از جمله مخترعاتی که در این زمینه استعداد و هوشمندی از خود نشان دادند می‌توان از آقایان: ا. ل. وریته، اودن (ژان اوژن روبر)[3]، گوستاو فرومان نام برد که ابزار فرار او، پیش‌نمونه‌ای برای ردهٔ بسیار جالبی از مکانیسمهای ساخته‌شدهٔ (شکل ۲) آقای امانوئل لیه[4] بود. با این حال، با اینکه این مغناطیس برقی و ترکیبات مشتق از آن، در تکنیکهای

1. Mathieu Hipp 2. Saint-Gall 3. J. E. Robert-Houdin 4. E. Liais



شکل ۱.ابزار تنظیم اختراعی هیپ (Hipp)، با تیغهٔ نوساندار.
زمانی‌که دامنهٔ آونگ از مقدار معینی کمتر می‌شود، تیغه فعال می‌گردد. این تیغه به‌توسط چرخدنده‌ای مدار مغناطیس برقی را می‌بندد، در نتیجهٔ این کار، نیروی جاذبه سبب افزایش انرژی و بنابراین دامنهٔ آونگ می‌شود. این سیستم تا سال ۱۹۲۵ به‌کار گرفته می‌شد.

تلگراف و علامتدهی موفقیتهای بزرگی داشتند نتایج کار آنها در حیطهٔ خاص ساعت‌سازی چندان نبود و در مقایسه با کوششهایی که در این راه انجام گرفته بود، ناچیز. دلیل این شکست این است که در کار کردن ساعتها، هیچ اهمالی مجاز نیست، زیرا یا موجب توقف قطعی، یا لااقل خطای کم اهمیتی می‌شود (مثلاً یک ضربه به زنگ ساعت نمی‌زند). بنابراین، آهنرباهای برقی قدیمی به جریانهای برقی بسیار قویتر نیاز دارند و پیلهای برقی نمی‌توانند بدون فرسودگی پیش از وقت، آن را تأمین کنند و قطع‌ووصل‌کننده‌ها به قیمت خراب شدن سریع کنتاکتها جریان را قطع می‌کنند. وضع ساعت برقی در ۱۸۷۰ هم همین بود. این وضع، تنها زمانی تغییر کرد که توانستند سیمهای بسیار ظریف و بخوبی عایق شده‌ای بسازند، تا با حجم کم، سیم‌پیچهای با تعداد دور زیاد و فعال با جریان ضعیف را امکانپذیر کند. تقریباً در همین اوان، در قطبش‌زدایی پیلها نیز پیشرفت مهمی به‌دست آمد که در نتیجه پیلها، گرچه ولتاژ بالا نمی‌دادند دوام آنها بیشتر شد. شرایط لازم برای

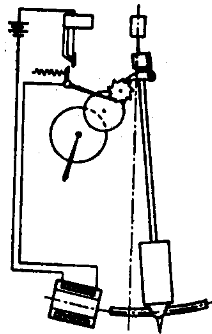


شکل ۲.اساس ساخت ساعت فرومان.
زمانی‌که نقطهٔ اصطکاک ۱، با وزنهٔ محرک ۲، تماس پیدا کند، مدار مغناطیس برقی بسته می‌شود. انتهای راست اهرم محرک به‌طرف مغناطیس برقی برمی‌گردد. وزنه روی اهرم انعطاف‌پذیر خود، پایین می‌رود. ضربه‌ای به رقاصک ۳، وارد می‌شود. نوسان رقاصک به طرف راست، مدار را باز می‌کند. قسمتهای مختلف از نو به وضع نشان داده شده در شکل برمی‌گردند.

پیشرفت ساعتهای برقی در آن زمان فراهم آمدند و این پیشرفت در ۱۹۰۰ با اختراع رقاصکی الکترومغناطیسی بوسیله شارل فری شتاب زیادی گرفت. این طرح، بسیار طبیعی بود: آهنربایی که به آونگ اتصال داشت ضربهٔ ادامهٔ حرکت را از یک بوبین ثابت که در لحظهٔ مناسبی جریان از آن می‌گذشت دریافت می‌داشت.

جهت جریان برطبق وضع قطبی آهنربا انتخاب می‌شد و ضربه باید در هرگذر، به‌طور عمودی در یک جهت زده شود، یعنی یک در میان. کنتاکتی که خود آونگ محرک آن است این کار را بسیار ساده تحقق می‌بخشد (شکل ۳). یک لحظه تفکر کافی است که متوجه شویم، که همان‌طورکه کمی پیشتر گفته‌ایم، شرایط لازم برای موفقیت در این کار، داشتن بوبینی با دورهای زیاد از سیم بسیار نازک، و نیز یک پیل بادوام، با ولتاژ بسیار ثابت است. مدتهای درازی، فرسایش پیل، حتی و بویژه در حالت باز بود که مانع پیشرفت ساعتهای برقی می‌شد. باز پیشرفتهای تازه‌ای (در پیامدهای تکنولوژی مارپیچی) در زمینهٔ عمر پیل، جفت و جذب بودن و بسیارکوچک کردن حجم آن، عملاً از حدود سال ۱۹۶۰، امکان حرکت تازه‌ای به پیش را به‌وجود آوردند.

مکانیسم بسته و باز شدن مدار برقی پیل را می‌توان همچنین موظف به‌حرکت دادن عقربه‌ها کرد و بدان‌جهت آن را «رقاصک حرکت دهنده» می‌نامند. این فکر در آغاز، از سوی کارشناسان



شکل ۳.اساس ساخت ساعت مستقل، سیستم Ato.
در سر رقاصک یک آهنربای دائمی است که در هر نوسان، قطب‌شمال آن در سولنوئیدی فرو می‌رود. یک سیستم چرخ ضامندار (دنده‌گیردار) در رأس رقاصک، زمانی‌که رقاصک به انتهای مسیر خود برسد، مدار را می‌بندد. در این لحظه، رقاصک ضربه‌ای دریافت می‌کند که به حفظ دامنهٔ نوسان آن منجر می‌شود.

زمانسنجی سنتی، که دو دستی به ادامهٔ طرزکار رقاصک «آزاد» چسبیده بودند، بسختی مورد انتقاد قرار گرفت. آنان درنظر نمی‌گرفتند که رقاصک حرکت‌دهندهٔ الکترومغناطیسی، خاصیت ناشناخته‌ای برای هر نوع ساعت‌سازی دیواری مکانیکی است که نیروی ضربات خود را با نیازها متناسب می‌سازد، تا دامنهٔ نوسانات، ثابت بماند. این وضع ناشی از پدیده‌های القایی در بوبین است: اگر دامنه به زیاد شدن گرایش یابد (کاهش مقاومتهای بی‌اثر)، نیروی برق وارانی در بوبین القا می‌شود و مقاومت دربرابر گذر جریان افزایش می‌یابد؛ بدین‌ترتیب ما دارای یک جریان و ضربهٔ ضعیفتری خواهیم بود. چنانچه دامنه‌ها کم شوند، اثر معکوسی خواهیم داشت.

بیشتر ساعتهای دیواری برقی که درحال حاضر ساخته می‌شوند اقتباسی از ساعت فری هستند که اصلاحات زیادی در آن به‌کار رفته است و تفاوتهای تکنیکی آنها در اینجا مورد بحث نیست.

با وجود اصلاحات پیاپی و داشتن اشکال بسیار رضایتبخش، کنتاکت متحرک، باز نقطهٔ ضعف ساعتهای الکتریکی باقی ماند. ترانزیستور نیز در موقع خود ساخته شد تا در شرایطی که به بوبین، یک سیم‌پیچ فرمان افزوده می‌شود، جانشین نسبتاً کاملی از آن باشد و آهنربا از آنجا ضربه آزادسازی ترانزیستور را القا کند. این ترانزیستور در مدت این ضربه به‌عنوان کنتاکت بسته‌ای

عمل می‌کند و اجازه می‌دهد که جریان ادامه‌دهندهٔ حرکت آونگ از سیم‌پیچ اصلی بگذرد.

یکی از جالبترین پدیده‌های ساعت‌سازی کنونی، کاربرد همین اصل در ساعتهای جیبی است. این تحول در زیر دیدگان ما چند سال است که ادامه دارد: درحالی‌که پیش‌نمونه‌های متعدد آن، روزانه ساخته و مورد آزمایش قرار می‌گرفتند، نخستین ساعتهای جیبی برقی، تنها در سال ۱۹۵۹، همزمان در فرانسه و ممالک متحدهٔ امریکا در بازار عرضه شدند و تردیدی نیست که این جنبش بسرعت دامنه می‌گیرد.

کاربرد اصل آزمودهٔ رقاصک حرکت‌دهنده در ساعتهای جیبی همان مسائلی را مطرح ساخت که درگذشته کاربرد عناصر برقی آزموده در تلگراف و در ساعتهای بزرگ پیش آوردند: مینیاتوری کردن قطعات، تأمین انجام کار، دوام پیلها؛ اما این مسائل در ابعاد بسیار کوچک و مشکلات بسیار بزرگ مطرح شدند. مسأله، ساخت سیمهای لعابی به قطر ۰٫۰۱ میلیمتر، آهنرباهایی به بزرگی ته سنجاق و پیلهای بسیار کوچکتر از ویفر بود. این مشکلات فنی هر روز بهتر از روز پیش برطرف می‌شدند. اما ساعتهای برقی با رقاصک مارپیچی چه سرنوشتی دارند. پاسخ این پرسش درگذشتهٔ نزدیک قاطع بود؛ اما اکنون باید توجه کرد که تغییراتی (بویژه «ترانزیستوری» شدن)، برای تعویض ساعتهای مکانیکی، که اصلاح آنها را می‌توان کامل شده دانست، مطرح شده‌اند. بهتر است فعلاً تا این حد قاطعانه سخن نگوییم: کاملاً محتمل به‌نظر می‌رسد که ساعت جیبی مجهز به تنظیم‌کننده‌ای با بسامد بالا با تغذیه الکترونیکی، بسرعت با تبدیل شدن به «Court-Circuiter» مرحلهٔ ساعت جیبی برقی با رقاصک مارپیچی را پشت سر گذارد. در اینجا با نمونهٔ جالبی از شتاب یافتن پیشرفتهای فنی با به‌اصطلاح، تلسکوپی کردن نوآوریهای پیاپی سروکار داریم. این پدیده که در همهٔ رشته‌ها به‌چشم می‌خورد می‌تواند مانع پیشرفتی باشد که کاملاً منطقی است، و بدین‌ترتیب، تعجیل زیاد در پیشرفت، ایجاد تأخیری کند که به تکنیک و اقتصاد آسیب فراوان وارد می‌سازد. اکنون این امر می‌تواند آثار خیری هم داشته باشد.

به‌هر تقدیر، ساعتهای دیواری برقی، به درختی چنان پربرگ‌وبار تبدیل شدند که اگر بخواهند آن را دنبال کنند ـ کاری که ما هم‌اکنون دربارهٔ یکی از شاخه‌های اصلی آن از زمان پیدایش تا زمان حال انجام دادیم ـ شاخه‌های دیگر آن گُم می‌شوند. ساعتهای دیواری برقی، در یک نظر، از جنبهٔ امکان آنها در انتقال نشانه‌ها به فواصل دور، یا از نظر تبدیل آنها به ترتیباتی که وسایل گیرنده، آنها را بدون تأخیر اجرا می‌کنند، ممتاز هستند. این امکان، حتی دستاورد علمی و بدیع این تکنیک است. می‌توان آن را با وجود شبکه‌های ساعتی تفسیر کرد که یک آونگ «مادر» یا «مدیره» با یک

ضربه، تعداد دلخواهی ساعتهای «دختر» را حرکت می‌دهد. برای اینکه در یک زمان هم از تأمین و هم از انعطاف مورد توقع از یک شبکه برخوردار باشیم، جهانی از مسائل فنی را باید حل کنیم. گروههای مخترع در این راه، با شبکه‌های نخستین که در سال ۱۸۶۰ بوسیلهٔ استانیسلاس فورنیه تأسیس شدند کاملاً درگیر هستند.

از کارهای بزرگی که ـ غالباً هم با موفقیت ـ شده است، شبکه ساعتی است، شبکه‌ای که حتی انرژی برق را توزیع می‌کند و در همهٔ خانه‌ها توزیع می‌شود، و بسامد آن را می‌توان به‌عنوان معیار قانونی در نظر گرفت و برای موتورهای دینامی همزمان و کوچک به‌کار می‌رود.

این، جریانی از اختراعات همجوار است که، خانوادهٔ بسیار متنوعی از کنتاکتگرهای ساعتی، مسؤول انبوهی از مشاغل، از مدیریت یک کارخانهٔ کامل تا سرپرستی یک ماشین لباسشویی خانگی را شامل می‌شود.

ترسیم خط مرزی بین ساعتهای به‌اصطلاح «تکنیکی» و تجهیزات برقی فرمان و کنترل ممکن نیست: هر دو گروه فراوردهٔ یک کارخانه هستند، یک اساس ساختمانی دارند، و در مقیاس بزرگی، تکنسین‌های واحد دارند. در همهٔ کشورهای پیشرفتهٔ صنعتی کارهای زیادی روی آنها می‌شود تا آونگ قدیمی دامنه‌دار، متناسب با تمدن تکنیکی تعویض شود.

در اینجا باید توجه خود را به فرزند دیگری، ارزان اما نجیب، از جهان باستان آونگی: ساعتهای نجومی، جلب کنیم.

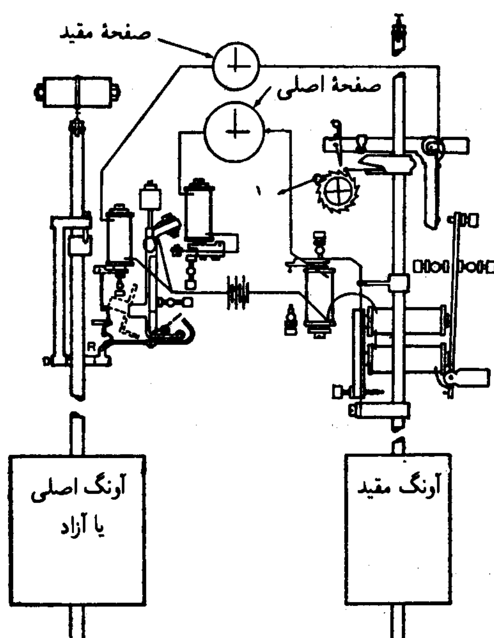
ساعتهای نجومی: با آغاز انقلاب بزرگ علمی در سدهٔ هفدهم، علل فراوانی: پیشرفت مکانیک آسمانی، پیشگوییهای بیش از پیش دقیق دربارهٔ موقعهای ستارگان، گسترش اخترشناسی، که در دقت به‌هیچ مرزی رضایت نمی‌دهد، و سرانجام در روزگار ما، طلیعهٔ کیهان‌نوردی ـ الزامات زمانسنجی اخترشناسان را، بدون هیچ حدومرزی افزایش می‌دهد. رشتهٔ ساعت‌سازی دیواری، بنا به میل خود، برای پاسخگویی به آن می‌کوشد. این صنعت تا ثلث نخست سدهٔ بیستم، بدون زحمت زیاد، بدین کار توفیق یافته بود و همهٔ کشورهای دارای سنت بزرگ ساعت‌سازی برای رصدخانه‌های خود، تنظیم‌کننده‌های بسیار خوبی با سنگهای حرکت‌دهنده، یا آونگ ثانیه‌شمار (میانگین یا نجومی، برحسب مورد) کلاسیک ساخته‌اند، در سبکی ساده اما پرشکوه، زیبایی بسیار زیادی در کار آنها اعمال شده بود. تحول فنی آنها با کندی زیاد، در طول سدهٔ نوزدهم ادامه یافت، اما دنبالهٔ تکنیک «عصر طلایی» ساعتهای مکانیکی بودند. تنها تفاوتی که می‌توان آن را نادیده انگاشت این بود که آنها همیشه با دیوار ستبر یا یک ستون قطور سنگی مهار می‌شدند، که یک پیشرفت اساسی بود

زیرا به‌طور بنیادی آثار حرکت آونگ را در ساعت حذف می‌کرد. در سال ۱۹۰۰ از آونگ با میلهٔ ساخته شده از آلیاژ اینوار استفاده شد، که پیشرفت بسیار مهم دیگری بود، و استفاده از پیشرفتهای تکنیکهای برقی، گرچه به‌شکل بسیار متفاوت از ساعتهای الکتریکی معمولی، شروع شد.

اصل تغییرناپذیر تنظیم‌کنندهٔ ساعتهای نجومی همواره انگیزهٔ تحقیق برای آونگ «آزاد» بوده است، یعنی در حد امکان از هیچ نیرویی جزگرانش تأثیر نپذیرد؛ اختلالات ناگزیر (نخست، ضربهٔ ادامه حرکت)، پیوسته کاهش یافت. از آن زمان به بعد، دیگر رقاصک حرکت‌دهنده مطرح نبود و قسمتهای برقی، دقیقاً وظیفهٔ آزاد کردن رقاصک از هر تأثیر را انجام می‌دادند. ساده‌ترین این وظایف، عمل کوک کردن، در فواصل زمانی برابر، یک وزنهٔ حرکت‌دهنده سبک که بدون تقلیل دادن سرعت عمل می‌کند بود و بدین‌ترتیب، ضربه‌های بسیار ثابتی وارد می‌شد (ساعتهای لوروا یا ریفلر[1]). این هم چیزی جز «برقی کردن» یک مکانیسم قدیمی نبود. متأسفانه خلاصه کردن این تحول بسیار اصیل و بسیار پیچیده‌ای که ساعتهای آونگی انگلیسی را در سال ۱۹۲۵ به ساعتهای شورت[2] تبدیل کرد، در چند سطر از محالات است. این ساعتها دو آونگ دارند، یکی «آزاد» تر از پاندول هر سیستم دیگری است، درحالی‌که دیگری به‌اصطلاح «مقید» می‌باشد و موظف به انجام هر کاری است و آونگ آزاد، متناوباً آن را وادار به نوسان می‌کند. کل این دستگاه، از مدارهای برقی و قسمتهای مکانیکی بسیار پیچیده تشکیل شده است (شکل ۴). همهٔ این ساعتهای دیواری، علامت خود را با واسطهٔ ضربه‌های برقی اعلام می‌دارند و عقربه‌های کمکی را هم‌زمان می‌کنند. بنابراین، کیفیت این سیستم هم به درجهٔ کمال تنظیم‌کنندهٔ اولیه و هم به ثابت ماندن همزمانی بستگی دارد. الزامات این ساعتها از نظر بزرگی، در ردیفی ورای گیرنده‌های ساعتهای شهری است. ساعت دیواری اولیه که نیاز به الحاق چیزی ندارد ممکن است دور از محل مورد استفاده گذاشته شود. این ساعت می‌تواند در زیرزمینی با دمای ثابت گذاشته شود (کاتاکومب‌های رصدخانه پاریس، همزمان با «فراموشخانه‌های» قرون وسطایی رصدخانهٔ گرینیچ، جای شایسته‌ای بودند) وانگهی این ساعت در جعبهٔ سربسته‌ای گذاشته می‌شود که فشار ثابتی دارد و بدین‌ترتیب، فارغ از تغییرات فشار جو است. آونگ آزاد ساعت شورت در جعبه‌ای با فشار کم گذاشته شده بود تا میرایی آونگ کاهش و «آزادی» آن افزایش یابد.

دو ساعت دیواری و مجزا از یکدیگر آقای شورت، در چند ماه کار خود، تنها چند دهم ثانیه از یکدیگر فاصله گرفتند و ساعتهای با ابزار فرار آزاد و فشار ثابتی که در فرانسه یا آلمان ساخته شدند اختلاف زمانی کمی داشتند و می‌توانستند وقت را در هر روز با دقت چند هزارم ثانیه نشان دهند.

1. rieflerیاLeroy 2. Shortt



شکل ۴.نمایهٔ ساعت سیستم شورت.
این سیستم پیچیده یک آونگ «آزاد» دارد، که در سمت چپ، بدون اختلال (جز لحظات کوتاه ضربهٔ ادامهٔ حرکت که قرقرهٔ R به آن وارد می‌سازد) نوسان می‌کند و نیز یک آونگ «مقید» که همهٔ کارها را انجام می‌دهد و متناوباً بوسیلهٔ آونگ آزاد یا اصلی وادار به نوسان می‌شود.

این ساعتهای جالب، امکانات این آونگ را منتفی ساختند و خصلتی که آقای هویگنس برای آن قائل شده بود به‌طور کامل سپری شد. دستگاه میزان‌کننده آونگی که به کمال خود رسیده بود، تنها می‌توانست از بین برود. در رصدخانه‌ها، این ساعتها، یک به یک متوقف و تحویل موزه‌های ابزارهای سابقه‌دار اما کهنه یعنی ابزارهایی شدند که به‌هنگام جوانی انگیزهٔ آن همه اکتشافات بوده‌اند.

آنها درواقع باید برای دستگاههای تنظیم‌کنندهٔ کاملاً از نوع دیگری، جای خالی کنند. یک نمونه تنها، برای درک این لزوم کافی است. تحقیق در آونگ «آزاد» متضمن این فرضیه بود که در

یک نقطهٔ معین، مقدار گرانش دقیقاً ثابت است. این فرضیه چند درجه‌ای تقریب دارد و زمانی‌که ساعتهای کوارتزی دیواری را با آونگی مقایسه می‌کنیم، تفاوت ماهانهٔ این دو ساعت، مربوط به تأثیر موقع ماه در مقدار گرانش در ساعت آونگی است، نقش این ساعتها به‌عنوان معیار قانونی ناگزیر به پایان می‌رسد، هرچند که تفاوت مورد بحث از چند هزارم ثانیه فراتر نمی‌رود.

قسمتهای تنظیم‌کننده با بسامد زیاد: کاربرد عناصر و مدارهای الکترونیکی از یکسو، و استفاده از لرزه‌گرهای کشسان با بسامد زیاد ـ که نمونهٔ بسیار مشهور آنها دیاپازون و کاملترین آنها بلور کوارتز است ـ را می‌توان در رشتهٔ زمانسنجی یک جهش کامل به‌شمار آورد.

امروز در نظر ما ادامهٔ نوسان یک آونگ، رقاصک مدور، دیاپازون و بالاخره یک نوسانگر بوسیلهٔ یک مدار الکتریکی، هیچ تعجبی ندارد. مثلاً می‌توان از نیروهای مغناطیسی، با اتصال یک آهنربا به آونگ و با داشتن دو بوبین که به ترتیب به ورودی و خروجی یک فزونساز (آمپلی‌فایر) وصل می‌شوند، استفاده کرد: کل این دستگاه یک سیستم واکنشی را تشکیل می‌دهد که تئوری و تکنیک آن کاملاً معلوم شده‌اند و ساخت انواعی از آن در همین چهار چوب ممکن هستند، اما در سال ۱۹۱۸، که فیزیکدانان لامپ سه‌قطبی (تریود) را ساختند و امکانات آن را با شگفتی کشف کردند، وضع بکلی تغییر کرد: آزمایشهای نخستین مربوط به ادامه یافتن کار یک دیاپازون به کمک الکترونیک، لااقل در فرانسه، محققاً بوسیلهٔ آقایان هانری آبراهام[1] و ا. بلوک[2] در ۱۹۱۹ بودند، درحالی‌که ادامه کار دیاپازون به کمک برق (قطع‌ووصل) مدیون آزمایشهای آقای ژول لیساژو[3] در ۱۸۵۷ بود. در فاصله زمانی ۱۹۲۰ـ۱۹۳۰ ساعتهای دیاپازونی یا قطعهٔ تنظیم‌کنندهٔ آن دیاپازونی از الینوار بود که آمپلی‌فایری با لامپهای الکترونیکی ادامهٔ ارتعاش آن را حفظ می‌کرد. دقت مطلق این ساعتها هنوز آونگهای رصدخانه‌ها را تهدید نمی‌کرد، اما انعطاف‌پذیری، سهولت فرمان به موتورهای همزمانی‌که گردشهای بسیار یکسان ایجاد می‌کنند، برای آونگها بسیار خطرآفرین بودند.

ساعتهایی که ما شرح دادیم، درواقع تنها در دوره‌ای به‌کار گرفته می‌شدند که امروز کاملاً سپری شده است؛ اما در مورد ساعتهای با تنظیم‌کنندهٔ دیاپازونی، چنین نیست. تکنولوژی فعلی توانسته است در یک ساعت مچی، با نام تجارتی accutron دیاپازونی با شکل کلاسیک را جای دهد که یک مدار ترانزیستوری لرزش آن را ادامه می‌دهد و به‌طور مکانیکی عقربه‌های معمولی آن را می‌گرداند. این، آغاز کار است. شکل دیاپازون U تنها شکل ممکن نیست و نقایصی دارد که اشکال دیگر از آن فارغ هستند. در آیندهٔ نزدیک باید در انتظار شکوفایی واقعی ساعتهای دیواری کوچک و جیبی با تنظیم‌کننده‌ای از یک لرزه‌گر کشسان یا «دیاپازون به‌معنی کلی» متصل به یک

1. H. Abraham 2. E. Bloch 3. Jules Lissajous

مدار الکترونیکی، مستعد برای انجام وظایف متعدد، و در ضمن مینیاتوری باشیم.

آنچه در دهه‌های آینده می‌توان انتظار کشید از همین خانوادهٔ جدید ساعتهاست و نمی‌توان آن را با ساعتهای مکانیکی کلاسیکی مقایسه کرد، گرچه پیشرفت آنها در اثر تکامل ساعتهای کوارتزی ممکن است متوقف شود.

هیچ لرزه‌گر کشسان شناخته شده نمی‌تواند به بلورهای تراشیده شده کوارتز، نزدیک شود. این جسم دارای صلابت زیاد و اصطکاک داخلی بسیار کم است و بنابراین میرایی نوسان آن بسیار جزئی است و در نتیجه استعداد قابل توجهی به تحمیل بسامدهای خود دارد (چیزی که ساعت‌سازان پیشین، آن را «توان تنظیم‌کنندگی» می‌نامیدند). این جسم، این استعداد را هم دارد که به‌علت خاصیت به‌اصطلاح (پیزوالکتریکی)، ـ خاصیتی که در اجسام متعدد دیگری هم هست ـ ادامهٔ لرزش در آن به کمک برق به‌آسانی انجام گیرد.

وجود پدیده‌های پیزوالکتریک در بلورهای کوارتز را برادران کوری[1] در ۱۸۸۰ کشف کردند. نخستین کاربرد آنها برای ادامهٔ نوسان کشسان یک میلهٔ تراشیده شده در بلور، بوسیلهٔ یک آمپلی‌فایر الکترونیکی، توسط آقای و. ج. کدی[2] در سال ۱۹۲۲ انجام گرفت. این آزمایش به یاد ماندنی، زمینهٔ تازه‌ای را کشف کرد که به کوشش پیشگامان متعددی در سالهای بعد ثمرات خوبی داشت. لرزه‌های میله‌ها و تیغه‌های کوارتز، در ارتباط با هندسه و جهت‌گیری آنها نسبت به محورهای بلور، آثار بسیار پیچیدهٔ دما، روشهای ادامه دادن به لرزه‌ها، موضوعات اصلی تحقیق بودند. نتیجهٔ این آزمایشها ساخت «اوسیلاتور اصلی» کوارتزی بود. این اوسیلاتور، بسامد فرستنده‌های رادیو را ثابت نگاه می‌دارد و در سال ۱۹۳۰ ساخت ساعتهای دیواری را امکانپذیر کرد. یکی از نمونه‌های اولیهٔ آن *Crystal Clock* آقای و. ا. مریسون[3] است. این ساعت، همهٔ قطعات ساعتهای کنونی را دارد، و نخستین پاسخ شایسته به مسائل دقیق و متعددی است که کاربرد یک چنین قطعهٔ تنظیم‌کنندهٔ انقلابی، پیش می‌آورد.

با وجود پیشرفتهایی که در کار تراش بلورهای دارای بسامد «آزاد» از دما ایجاد شد، چنانچه دقت بسیار زیاد لازم باشد باید از دما پای (ترموستا) استفاده شود. از سوی دیگر، بسامدهای در دسترس با قطعهٔ کوارتز دارای ابعاد مناسب، بسیار بالا، لااقل ۵۰ هزار هرتس (هر هرتس برابر یک دور در ثانیه) است ـ چیزی که بدون استفاده از یک مونتاژ ظریف الکترونیکی «تقسیم بسامد» قادر به گردانیدن یک موتور همزمان نیست. این دستگاههای تقسیم که اکنون کامل شده‌اند بنا به دلایل متعدد، ترجیح می‌دهند که بسامد کوارتز راهنما را تا ۵ مگاهرتس بالا ببرند. اگر لزوم یک تغذیهٔ بسیار

1. Curie 2. W. G. cady 3. W. A .Marrison

ثابت را به آن بیفزاییم، که دیروز لامپهای الکترونیکی بود و امروز ترانزیستورها هستند، پیچیده بودن این وسیله را به‌حق می‌دانیم. در بیان تکمیل و پیشرفت پیوستهٔ آن از سال ۱۹۳۰ به بعد، باید شرایط تکنیکی را به‌حساب آوریم ـ کاری که جای بحث آن در اینجا نیست. ساخت ساعتهای کوارتزی از این زمان به بعد، بخصوص در آلمان، با همت آقای شایبه[1]، در بریتانیای کبیر بوسیلهٔ آقایان دای[2] و اسن[3]، در ممالک متحدهٔ امریکا، از جمله بوسیله و. ا. مریسون[4]، و. پ. میسن[5] تکثیر شدند. نام این چند نفر به‌عنوان نمونه آورده شد، اما در واقع در هر کشور، گروهی از مهندسان و فیزیکدانان برای تکمیل چه قطعهٔ ادامه‌دهندهٔ حرکت و چه تراش کوارتزها و نیز کار مونتاژ ساعت، دمापای و غیره در تلاش بودند. از سال ۱۹۳۴ ثابت بودن کار ساعتهای کوارتزی دیواری نه‌تنها از ساعتهای آونگی، بلکه از گردش زمین هم دقیقتر شد. حرکت ظاهری زمین، در واقع تغییر سالانه‌ای دارد که درست شبیه تغییر آن در سال بعد، و از یک ساعت دیواری به ساعت دیگر است. آقای ن. استواکو[6]، اخترشناس فرانسوی توانست در سال ۱۹۳۶ ثابت کند که علت این پدیده، تقدیم اعتدالین حرکت زمین است که یک تغییر روز نجومی را، که تا آن زمان عالیترین معیار زمان تلقی می‌شد، سبب می‌شود.

از آثار انقلابی این کشف بر اندازه‌گیری، تعریف زمان و واحد آن و فلسفهٔ علوم که بگذریم در اینجا به ذکر آن به‌عنوان شاهدی از علو مقامی که ساعتهای دیواری کوارتزی، تنها پس از گذشت چند سال از اختراع خود بدان دست یافتند، بسنده می‌کنیم.

این وضع، علی‌رغم وجود دو محدودیت، تأیید و تقویت آن را در پی داشت.

محدودیت نخست را تنها می‌توان نوعی بیماری کودکی دانست. مدتها بود که ایجاد کار مطمئن و بادوام این مجموعهٔ الکترونیکی بسیار پیچیده، کار دشواری بود. تکنولوژی فضایی در حال حاضر، حل این مشکل را بسیار ساده می‌داند و ساعتهای کوارتزی معمولاً برای چند سال به‌طور پیوسته کار می‌کنند. این ساعتهای ثابت، دارای تغذیه کمکی هستند که فوراً به‌جای بخشی که از کار افتاده است عمل می‌کنند. پیلهای ساعتهای دیواری قابل حمل، باید در فرصت مناسب عوض شوند.

اما پدیدهٔ کهنگی و پیر شدن، اساسیتر و خطرناکتر است. بسامد یک کوارتز لرزنده، با اینکه ثبوت مطلوب را دارد، آهسته اما مداوماً و بدون مرز معینی افزایش می‌یابد. در بهترین ساعتهای شناخته شده، مقدار جلو افتادن در هر سال، برای هر روز میانگینی برابر ۰٫۰۰۰۵ ثانیه دارد. این پدیده علل گوناگون دارد و قدری هم اسرارآمیز است. بخشی از پیری به مدارهای ادامهٔ حرکت

---

1. Scheibe 2. Dye 3. Essen 4. W. A. Marrison 5. Mason W. P. 6. N. Stoyko

بستگی دارد که در عمل می‌توان آن را حذف کرد، اما بزرگترین بخش آن به خود بلور برمی‌گردد: تحت تأثیر ارتعاشات، ساختار بلور، بویژه در اثر تغییر محل اتمهای خارجی محبوس در شبکه، بکندی تغییر می‌کند؛ مانند اتمهای هلیم که در زمان تشکیل این بلور در آبهای گرم عمیق در دورهٔ زمین‌شناسی بسیار گذشته‌ای محبوس شده‌اند. فرایند پیر شدن را که بسیار منظم است، می‌توان برون‌یابی، و چگونگی کار ساعت را در ماههای آینده، پیش‌بینی کرد. با این همه، زمانی‌که دلواپس دقت فوق‌العاده زیادی هستیم، این برون‌یابی، را باید گاه‌گاهی تصحیح و هدایت کرد؛ به دیگر سخن، استفاده از یک باتری ساعتهای کوارتز، مستلزم مهارت و کار پیچیده‌ای است.

نیازی به گفتن نیست که رعایت نکات بالا، تنها در مؤسسات وقت نگهدار رصدخانه‌ها و تأسیسات بزرگی که از جا و مواظبت و اعتبار در مضیقه نیستند می‌تواند انجام شود. این تأسیسات می‌توانند یک لحظه را با دقتی در ردیف ده هزارم ثانیه معین کنند و این کار نه به‌طور استثنایی یا گاه‌گاهی، بلکه دائمی انجام گیرد: مقادیر جلوافتادگی شبانروز، که قبلاً گفته شد، بسیار بیش از آن است که بتوان «ندیده گرفت» و مقتضی مشاهدهٔ آثار و وارد کردن آنها با دقت بسیار زیاد در محاسبه است.

پیشرفت ساعتهای کوارتزی دیواری جنبهٔ دیگری هم دارد. این پیشرفت بستگی به ساخت ساعتهای غیر ثابت با جاگیری و صرف انرژی هرچه کمتر دارد. حدود سال ۱۹۵۲ ساعتهای غیرثابتی ساختند که حجم آن در حدود یک دستگاه گیرنده رادیویی بود که با باتری اتومبیل کار می‌کرد و می‌شد از فاصله یا در محل، دقت بالایی را در آن اعمال کرد. در سال ۱۹۵۹ نمونه‌ای از آن با حجمی برابر قوطی سیگار بزرگ (حجم پیل هم در آن منظور شده است) با دقت زیادتر از معمول و با اطمینان کرونومتر مکانیکی دریانوردی که گویا برای مدت کوتاهی هم جایش را به آن داد، ساخته شد. در حال حاضر، ساعتهای کوارتزی کوچک، بیش از یک سال کار می‌کنند درحالی‌که عدم دقت آنها در هر ماه کمتر از یک ثانیه است. آنها هیچ تفاوتی، جز در قیمت، با ساعتکهای اداری ندارند. ساعتهای مچی کوارتزی که مثلاً دیروز، خواب و خیال تلقی می‌شدند، اینک صورت واقعیت روزانه دارند.

اما ساعتهای دیواری کوارتزی به‌عنوان معیار قانونی زمان چه سرنوشتی دارند؟ بدون تردید، در این زمینه هنوز آخرین کلام خود را نگفته است: کاربرد آن در دماهای بسیار پایین (کوارتز در هلیم مایع گذاشته می‌شود)، یافتن شکلهای تازه‌ای ازکوارتز لرزنده، ثبات بسامد را باز هم زیادتر و تغییرات آن را کمتر می‌کند. اختراع فیزیکی و اختراع فنّی نو به نو در این پرس‌وجوی خستگی‌ناپذیر برای

دستیابی بدقت بسیار زیاد، نظر دارند. با همین اطمینان می‌گوییم که ساعتهای کوارتزی دیواری دیگر نمی‌توانند نقش استاندارد بنیادین زمانسنجی را داشته باشند.

زمانسنجی اتمی: اگر این مکانیسمها فرسوده و اگر کوارتزها پیر می‌شوند، پس در کجا می‌توان معیارهای قانونی واقعاً تغییرناپذیری یافت؟ ابدی بودن و یکسان ماندن اتمها، فرضیهٔ بنیادین فیزیک معاصر است. اگر همهٔ ترکیباتی که اتمها وارد آنها می‌شوند نابود و تبدیل شوند، خود اتمها بی‌حرکت خواهند ماند. بسامدهای ویژهٔ ارتعاشی ستارگان پیر، در آغاز چنین بوده و اکنون هم چنین‌اند. بنابراین، چنین بسامدی که معیاری است تحفهٔ طبیعت، ابدی و ایجاد کردنی است. اما این ادعا هرگز نظر بر تحقق آن ندارد. بسامدهای اتمی بسیار بالا هستند: آنهایی‌که در طیف مرئی هستند به 10^{15} هرتس می‌رسند و پایینترین بسامدها که «طیف هرتسی» را تشکیل می‌دهند، و حدود سال ۱۹۳۸ کشف آنها شروع شد رقمی برابر 10^{9} یا 10^{10} هرتس دارند. در همان زمان، الکترونیک و رادیو از بسامد حدود 10^{6} هرتس شروع کردند و رفته‌رفته حدود کار آنها به بسامدهای بالاتر کشیده شد. انگیزهٔ نیاز، طی جنگ جهانی دوم، کار را به پیشرفت انفجاری الکترونیک کشانید و سلطهٔ کامل این رشتهٔ بسیار عجیب و غریب را که «هیپر بسامدها» از 10^{8} تا 10^{10} هرتس خوانده می‌شود فراهم ساخت، به‌طوری‌که با بسامدهای اتمی، پیوسته شدند. مقایسهٔ مستقیم یک بسامد مولکولی با زمان ساعتهای دیواری با ساخت نخستین *atomic clock* بوسیله آقای لاینز[1] و همکارانش از National Bureau of Standards (ممالک متحدهٔ امریکا) در ۱۹۴۸ انجام گرفت. این ساعت دیواری «اتمی» درواقع «مولکولی» بود زیرا برپایهٔ جذب یک پرتو با طول موج ۱٫۲۵ سانتیمتر کار می‌کرد که بسامد آن ۲۴۰۰۰ مگاهرتس و مربوط به گاز آمونیاک بود. طرز کار آن ناقص و دقتش متوسط بود. گرچه این مولکولها در واقع دقیقاً همگی یک شکل و تغییرناپذیر بودند، پیوسته تأثیرات یکدیگر و نیز آثار عوامل فیزیکی حاکم بر محیط خود را تحمل می‌کردند: به‌هم خوردن دائم و نامرتب آنها، ضربات متقابل، میدان مغناطیسی یا برقی، همهٔ این عوامل به‌شکل پیچیده‌ای اثر می‌گذاشتند و بسامدها را جابه‌جا یا پخش می‌کردند.

این نخستین ساعت دیواری اتمی، امتیازی ـ نه چندان کم اهمیت ـ داشت که امکان یافتن راه‌حلها را ثابت می‌کرد، اما نتوانست نشان دهد که، چیز ارزشمندی است زیرا از پدیدهٔ جذب استفاده می‌کرد که به‌هم خوردن و ضربات مولکولی، تأثیر فراوان و زیان‌آوری بر بسامد دارند.

تحول بعدی پیچیده‌تر است و پدیده‌های فیزیکی گوناگونی لازم است تا بتوان آن را تا حدودی به‌تفصیل شرح داد. با تمام این احوال، می‌توان خطوط اساسی و افکار بنیادی این قضیه را با کمی

1. Lyons

برگشت به عقب و طرح پرسش «بحث دربارهٔ چیست؟» تا حدودی باز نمود.

قسمت الکترونیکی این دستگاه یک علامت الکتریکی ایجاد می‌کند یا حامل آن است، و حال آنکه قسمت اتمی، می‌بیند که اتمها (یا مولکولها) متحمل یکی از تغییراتی می‌شوند که ما به اختصار آنها را ارتعاش نامیدیم زیرا در اینجا با بسامد خاصی مربوط است. بدین علت واکنشهای متقابل بین علامت الکترومغناطیسی و حالتهای کوانتایی این اتم پدید می‌آید. اگر تنها یکی از این بسامدهای ویژه برای یک اتم مؤثر افتد (برای سادگی کار)، دو حالت اتفاق می‌افتد: جذب یا نشر یک کوانتوم تابش، یا به زبان دیگر، گذر از حالت کوانتایی کمترین انرژی (حالت «پایه») به حالت کوانتایی انرژی بالاتر، یا برعکس. در نظر یک مشاهده‌گر، این ارتعاش با بسامد و شدت خود مشخص می‌شود: همان‌طورکه قبلاً گفتیم، بسامد با هر دو حالت کوانتایی هر اتم تعیین می‌شود، و شدت با تعداد تبدیلات هر حالت به حالت دیگر. این تعداد تابع دو عامل است: برای یک اتم منفرد، احتمال گذر از یک حالت به دیگری، و برای مجموعه‌ای از اتمها، تعداد اتمهایی که تراز نخستین انرژی را اشغال می‌کنند. مکانیک آماری نشان می‌دهد که این احتمالات در هر دو جهت، عملاً برابر هستند و ازدحام در تراز پایین همیشه در حالت تعادل بیش از ازدحام در تراز بالاتر است و تفاوت آنها برای ترازهای بسیار نزدیک، که در اینجا مورد بحث است، بسیار کم است. پدیده‌های قابل مشاهده، نتیجهٔ شمار زیادی واکنشهای اولیه می‌باشند: دیده می‌شود که با یک گاز متعادل، ما تنها با یک جذب، گرچه بسیار ضعیف، سروکار داریم، که با فرایند برگشت (اشباع) محدود می‌شود و نشر، مستلزم این است که بوسیله‌ای قبلاً اتمهای بسیار زیادتری را که تعادل را به‌هم می‌زنند به تراز بالاتر برده شوند. برای اینکه یک معیار اتمی از بسامد داشته باشیم باید از دو تراز استفاده کنیم و ازدحام طبیعی این دو تراز را بطور اساسی تغییر دهیم: با کاهش ازدحام تراز بالایی، جذب آزادی خواهیم داشت، نشر را می‌توان با کاهش ازدحام تراز پایینی تحریک کرد.

عملاً سه وسیلهٔ مؤثر برای این کار وجود دارد که ما تنها می‌توانیم نظری اجمالی به آنها بیفکنیم. برای اتمهای دارای گشتاور مغناطیسی، می‌توان، اگر از قبل اتمها را آمادهٔ یک «فوران» کرده باشند، بین هر دو تراز، یک تری (tri) مغناطیسی اعمال کرد: این فوران هر بار که یک ظرف محتوی یک گاز یا بخار («کوره») از راه یک کانال بسیار تنگ، وارد یک خلأ بسیار زیاد می‌شود به‌وجود می‌آید: تنها می‌توان اتمهایی را از این کانال گذرانید که سرعت (سرعت «گرمایی» آن در ردیف کیلومتر در ثانیه باشد) آنها، جهتی بسیار نزدیک به محور این کانال داشته باشند و آنها به راه خود در خط مستقیم در خلأ ادامه دهند. یک میدان مغناطیسی مناسب، بر مسیرهای آنها اثر می‌گذارد، و با

منحرف کردن متفاوت مسیرها، اِعمال تری (*tri*) مغناطیسی می‌کند. روشهای فوران در فیزیک، بسیار قدیمی هستند و گویا برای بار اول در سال ۱۹۲۰ آقایان اشترن و گرلاخ[1] آن‌را به‌کار برده‌اند دقیقاً برای اینکه گشتاور مغناطیسی اتمی را آشکار کنند، و تکنیکهای جدیدی که آن را به معیارهای بسامد تبدیل کرده‌اند، اساساً نتیجه کارهای آقایان ایزیدور آیزک رابی[2] و ج. ر. زاکاریاس[3] در ۱۹۳۸ می‌باشند. برای مولکولهایی که دارای گشتاور برقی هستند اِعمال تری (*tri*) بوسیله یک میدان برقی ممکن است. این جریان، پایهٔ آزمایشهای بیاد ماندنی آقای چارلز تاونز[4] در ۱۹۵۵ شد که سازندهٔ اوسیلاتورهای تحریک شده و نیز علایم اختصاری مشهور به Microwave Amplification of Stimulated Emission of Radiation :Maser بود که مورد پذیرش همه واقع شد.

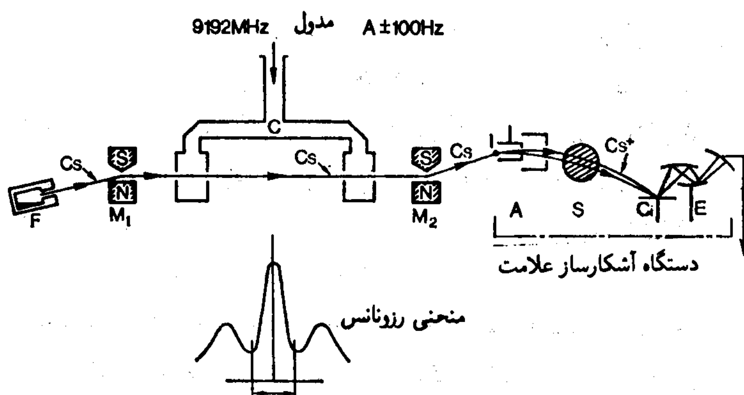
روش سوم، به‌اصطلاح تلمبه‌زنی نور است که با اینکه نامگذاری آن باید چگونگی این روش را تا حدودی توضیح دهد، باز بیان آن دشوار است: گرچه اتمها در حالت سکون در آب یک منبع، حل می‌شوند، تلمبه‌ای که از تشعشع بشدت جذب شده ساخته شده است، اتمها را به منبع بالاتری صعود می‌دهد و از آنجا اتمها در تراز واسطه‌ای «جریان می‌یابند» که بدین‌ترتیب به‌طور مصنوعی، نسبت به تراز اولیه پر ازدحامتر شده است. کاربردهای تلمبه‌زنی نور سبب شد که قلمرو محدود معیارهای بسامد، بسیار گسترده شود و بویژه «لیزر» را شامل شوند. این روش، اصولاً ریشه در کارهای آقای آلفرد کستلر[5] فیزیکدان فرانسوی دارد که به پاداش آنها جایزهٔ نوبل ۱۹۶۶ در رشتهٔ فیزیک را دریافت داشت.

معیارهای گوناگونی برای بسامدها در آزمایشگاه‌های مختلف در سراسر جهان ساخته شده‌اند و هرکدام یکی از روشهایی را که توضیح دادیم انتخاب کرده‌اند و برای فروش عرضه داشته‌اند. نخستین این معیارها، از نظر قدمت، Atomichron نام دارد که در ۱۹۵۷ ساخته شد. این دستگاه برپایهٔ بسامدی از اتم سزیم است که جداسازی آن بوسیلهٔ مغناطیس در شکل ۵ نموده شده است. یکی از معیارهای بسیار اخیر، یک میزر هیدروژنی با بسامد ۱۴۲۰ مگاهرتس است ـ بسامدی که در رشتهٔ نجوم رادیویی بسیار اهمیت دارد. تلمبه‌زنی نوری را مؤسسات متعددی، از جمله یک مؤسسه مهم الکترونیک فرانسه، عملی کردند.

آنچه گفته شد معیارهای اتمی را به‌عنوان تعیین‌کنندهٔ یک بسامد معرفی می‌کند. یک معیار بسامد، یک ساعت دیواری نیست: با افزودن دستگاههای شمارشی که بتوانند یک لحظه و یک فاصلهٔ زمانی را تعیین کنند می‌توان از ساعت دیواری یک معیار بسامد ساخت، شمارش مستقیم

---

1. Gerlach 2. J. J. Rabi 3. J. R. Zacharias 4. Ch. Townes 5. A. Kastler



شکل ۵.نمایهٔ یک بازآواگر سزیمی.
کورهٔ سزیم، F؛ مسیر اتمهای سزیم، C_1؛ آهنرباهای با میدان ناهمگون، M_1M_2؛ مجموعهٔ هیپرفرکانس، راهنمای ورود، دو حفره با یک منحنی بازآوایی C؛ یوننده، I؛ شتاب‌دهندهٔ یونها، A؛ طیف‌سنجی که تنها یونهای Cs^+ را روی هدف Ci که الکترونهای فرعی را منتشر می‌کند، متمرکز می‌سازد، S؛ مسیر یونها، Cs^+؛ چندبرابر کنندهٔ یونهای فرعی، E.

بسامدهای اتمی ـ که دیده شد که مقدار آن عملاً امکان‌پذیر نیست و نیز واسطه‌ای برای گشتاور ضروری ـ یک ساعت دیواری کوارتزی است که به کمک دانش الکترونیک بسیار پیشرفته، از بسامد اتمی استفاده می‌کند.

درطی دهه‌های نخستین سدهٔ بیستم، ساعتهای دیواری اتمی، پیشرفتهای بسیار چشمگیری داشته‌اند. نخست در مورد مدت کار کردن: در نوجوانی، چند صد ساعت کار کردن این ساعتها، چشمگیر بود. یک ساعت‌سازی بزرگ، امروز با تکیه بر رزوناتور (همنواگر) های سزیمی، ۲۵ هزار ساعت کار را تضمین می‌کند. در مورد دقت: بحق دقت $۱۰^{-۱۰}$ را دستاورد بزرگی می‌دانند. ساعتهای کنونی معیار به دقتی برابر $۱۰^{-۱۳}$ دست یافته‌اند، درحالی‌که دقت ساعتهای دیواری اتمی معمولی در ردیف $۱۰^{-۱۲}$ است.

در ادامهٔ نتیجه‌گیری که در فصل مربوط به زمانسنجی در مجلد سوم داشتیم باید گفت که دو سدهٔ تحول در ساعتهای دیواری مکانیکی، دو رقم اعشاری بدقت ($۱۰^{-۵}$ تا $۱۰^{-۷}$) افزوده‌اند. بنابراین، اکتفا کنیم که بدون هیچ‌گونه تفسیری بگوییم که ساعت دیواری کوارتزی و شروع زمانسنجی

اتمی دو اعشاری دیگر، در طی بیست سال، به‌دست آوردند (۸-۱۰ تا ۱۰-۱۰) و با گذشت پنج یا شش سال دو اعشاری دیگر (۱۰-۱۰ تا ۱۲-۱۰) جلوتر خواهند رفت.

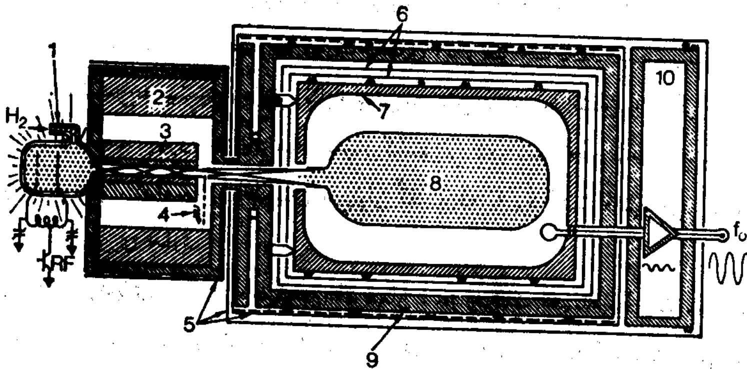
طبعاً نه‌تنها نیازهای بسیار مبرم عملی، بسیار زیادتر شده است ـ از آن جمله نیازهای مربوط به کشتیرانی داخلی و استراتژیک و نیز نیازهای ماهواره‌ها ـ بلکه همچنین شاخه‌های دیگر اندازه‌گیری، مانند اندازه‌گیریهای طول و اندازه‌گیری ولتاژ برق کاملاً پیشرفت کرده‌اند. پاسخ به این پرسش همیشگی «به چه دردی می‌خورد؟» دشوار نیست؛ می‌گوییم هر اندازه زمانسنجی به پیش رود، تنها می‌تواند انگیزه‌ای برای دقیق کردن اندازه‌گیریها در شاخه‌های دیگر فیزیک باشد. عطش تسکین‌ناپذیر علوم بنیادی در دقت هرچه بیشتر، آزمایش نتایج بیش از پیش دقیق نظراتشان را ممکن می‌سازد، بدون رویارویی با واقعیت، چیزی جز باد هوا نیست. کشتیرانی دور دنیا انجام شده است، اما مقتضیات کیهان‌نوردی واقعی، کدامند؟ با اطمینان می‌توان گفت، که با برد اکتشافات خود، پیش می‌رود و همچون کیهان، مرزی ندارد.

دربارهٔ پیشرفتهای ما در زمانسنجی، از همان آغاز حرکت آهسته ساخت ساعتهای دیواری قدیم تا پیشرفت خیره‌کنندهٔ زمانسنجی اتمی، باید هم گذشته را تحسین کرد ـ که نه‌تنها سترون نبوده است، بلکه تشویق کننده بود ـ و نیز اعتماد به آینده‌ای که هرگز آرام نخواهد بود، اما محتاط است و بنابراین بارور.

در تحولات وسایل ساعتی، آنچه که در صفحات پیش به‌عنوان گرایش آمده است، در موارد متعددی، کاری است که در زمان انتشار این مجلد انجام گرفته است: ساعت مچی کوارتزی، اکنون واقعیتی است. ساعت جیبی که در فاصلهٔ میان دو تغییر پیل، دوام کاری یکساله یافت، زمان را به دقت حدود یک ثانیه معین می‌کند و آینده دارد.

دربارهٔ پیشرفت کار زمانسنجی، ارقامی که قبلاً دادیم در معیارهای کنونی، کهنه شده‌اند؛ و تصحیحاتی هم که در آنها می‌شود، در آینده مشمول مرور زمان خواهند بود.

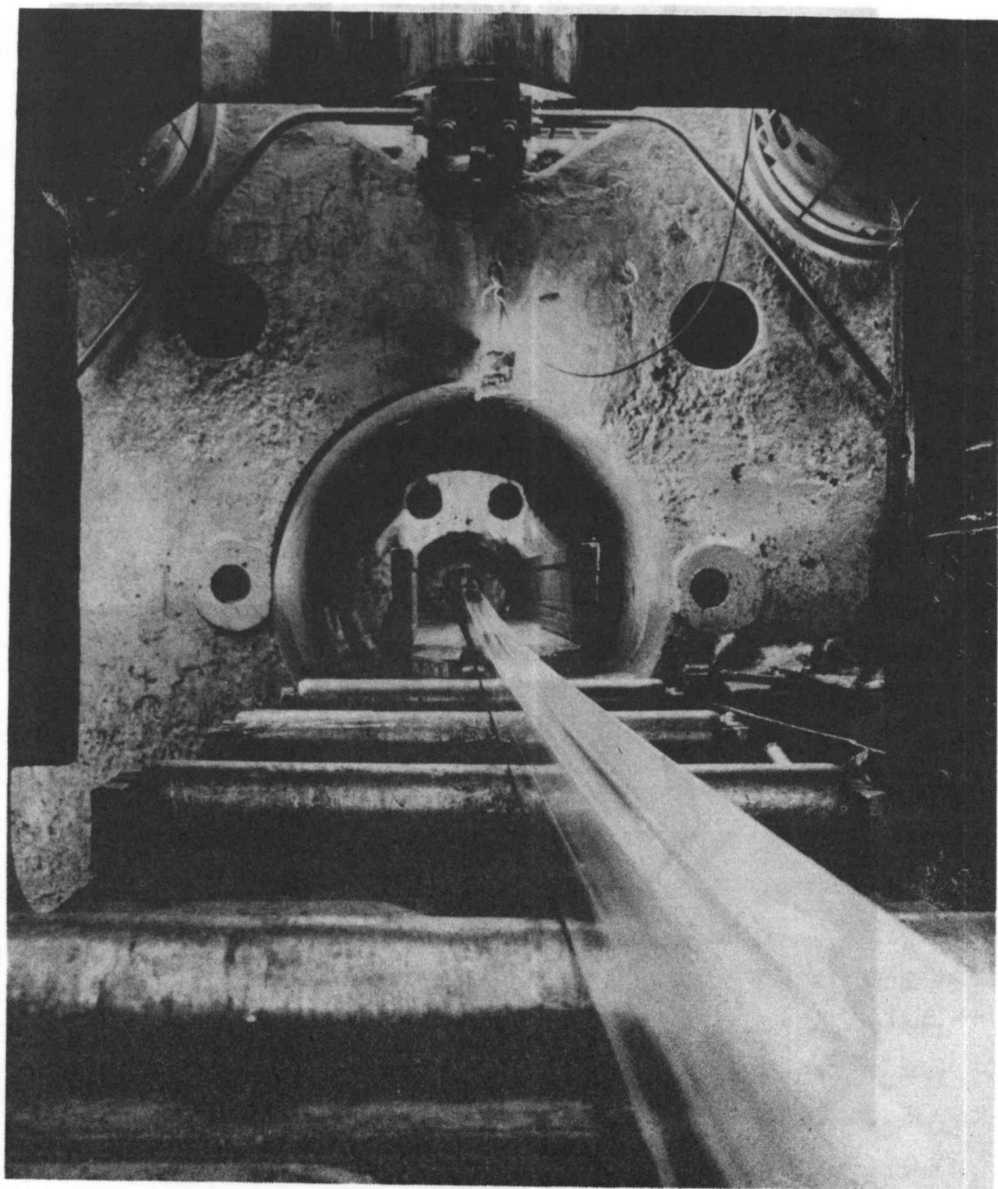
قبلاً گفتیم که معیار قانونی کوارتزی، هنوز حرف آخر را نزده است: محققاً بازسخنها دارد و تحقیقاتی که گاهی منجر به بهتر شدن طرز کار آن می‌شوند، گاهی پدیده‌های فیزیکی تازه‌ای آشکار می‌سازند که نوعی رقابت جهانی آزمایشگاه‌های متعدد را برمی‌انگیزند. گرچه میزر هیدروژنی هنوز یک وسیلهٔ آزمایشگاهی است، بهای آن گزاف و کار با آن دشوار است، اما با آن می‌توان ابعادی در حدود ۱۵-۱۰ را برای بسامد تعیین کرد (شکل ۶). در همین زمان ساعتهای دیواری با بسامد سزیم با ضمانت ۱۲-۱۰ × ۵± به بازار آمده‌اند.



شکل ۶.قسمتهای اصلی یک میزر هیدروژنی.
تفکیک‌کننده، ۱؛ تلمبه، ۲؛ سلکتور حالت، ۳؛ سدکنندهٔ دسته اشعه، ۴؛ زره‌های مغناطیسی ۵ و ۶؛ حفره بازآواکننده؛ ۷؛ محفظهٔ انبار، ۸؛ پوشش خلأ شده همدها، ۹؛ تجهیزات الکترونیکی، ۱۰.



تابلوی ۵. ریخته‌گری قطعات آلومینیمی (۱۹۱۱).



تابلوی ۶. بیرون آمدن یک پروفیل آلومینیمی از یک پرس کششی.

۲

ماشین ـ ابزارها

می‌توان پذیرفت که ماشین ـ ابزار در سدهٔ نوزدهم پیدایش یافته است، و این دورانی است که انسانها، از نژادهای گوناگون اما دارای هوش مکانیکی، بررسیها و کارهای خود را روی طرح و ساخت ماشینهایی که بتوانند عملیات ماشین‌کاری راکه به‌طور روزافزونی متنوعتر و متعددتر می‌شدند، متمرکز کردند.

کارهای گذشته، صرفنظر از ارزش آنها، درصورتی اهمیت داشتند که برای چند مسألهٔ خاص ـ مهمترین آنها، استفادهٔ از بخار در خانه ـ راه‌حلهایی ارائه دهند.

کاربرد این منبع فوق‌العادهٔ انرژی در صنایع تازه، بویژه حمل‌ونقل، سبب شد که در نیمهٔ نخست سدهٔ نوزدهم، نیازهای تازه و اختراعات جدیدی پدید آیند که برجسته‌ترین آنها، در فرانسه، راه‌اندازی نخستین راه‌آهن سنت ـ اتین در ماه مهٔ ۱۸۲۷ در آندرزیو، و اختراع پروانه کشتی به توسط هانری سواژ در ۱۸۳۲ و ساخت نخستین کشتی پروانه‌دار بوسیلهٔ ا.نورمن در نه سال پس از آن بود.

در سه کشور بزرگ ردیف نخست صنعتی، به تعداد کارگاههای ماشین‌سازی، بدون وقفه افزوده می‌شد، درحالی‌که، به‌موازات آن، ساخت ماشین ـ ابزارها نیز پیشرفت داشت.

در سال ۱۸۵۰ در فرانسه بیش‌از ۵۰۰۰ ماشین‌بخارکار می‌کردند (با توان کلی حدود ۶۷۰۰۰ اسب) و ۱۹۰۰ کیلومتر راه‌آهن وجود داشت. اکثر ماشینهای مکانیکی عمومی، کم و بیش زمخت وکم و بیش دقیق بودند اما به تغییر شکل فلزات با شرایط قابل قبول برای آن زمان مقدور بود.

یک کارخانهٔ ماشین‌سازی در ۱۸۵۰

حال به مشخصات کلی یک کارخانهٔ ماشین‌سازی آن زمان نظری می‌افکنیم. بدین‌منظور، ما یک کارخانه واقع در پاریس را به‌عنوان نمونه بررسی می‌کنیم، کارخانه‌ای که فراورده‌های اساسی آن عبارت بودند از:

- ماشینهای ریسندگی نخهای کتانی و کنفی؛
- تسمه‌های نقاله؛
- ماشینهای ابزار.

بدین‌ترتیب، کارهای این کارخانه روی قطعاتی با هر اندازه، بسیار گوناگون بودند.

وانگهی، در همان حال که فهرست ماشین‌ابزارهای ساخته شده را با مشخصات اصلی و بهای آنها ارائه می‌دهیم، امکانات این صنعت را در آغاز این دوره مورد بررسی، به‌نظر می‌رسانیم.

وسایل کار: این کارخانه سه کارگاه مجزا داشت که یکی کارهای آهنگری، دومی، صفحه‌تراشی و سنگزنی را انجام می‌داد؛ سرانجام کارگاه سوم به مونتاژ مربوط می‌شد. انرژی این کارخانه از دو ماشین بخار ۱۲ و ۱۶ اسب تأمین می‌شد.

تجهیزات این کارخانه (نبودن ماشینهای فرز را تذکر می‌دهیم) شامل:

- دستگاههای سادهٔ تراشکاری با سرعت ثابت که روی میز چوبی مستقر بودند؛
- دستگاههای دنده‌تراشی، روی میزهای چوبی؛
- دستگاههای دنده‌تراشی ریلی (بدون پیچ مادر = پیچ پیشبر طولی تیغچه) با میز چدنی؛
- دستگاههای کفتراشی، با یا بدون نگهدار مرغک متحرک؛
- دستگاههای صفحه‌تراشی با تیغ متحرک یا ثابت؛
- دستگاههای مته‌کاری و برقوزنی، عمودی؛
- دستگاههای به‌اصطلاح پلات فرم یا دنده تراش؛
- دستگاههایی که استوانه‌های ماشینهای ریسندگی را شیار می‌زند؛
- دستگاههای سوهانکاری گیره‌ای؛

- دستگاههای تراش مهره و سرِپیچ یا پیچ و مهره؛
- دستگاههای قلاویز کاری؛
- سنگ سنباده‌های پرداختکاری «برای قطعات چدنی، آهنی و غیره»؛
- چکشهای مکانیکی برای آهنگری؛
- جراثقال ثابت و متحرک برای حمل و نقل قطعات سنگین.

در این کارگاههای پر سروصدا، پرگرد و خاک و تاریک که با شمع روشن می‌شدند و در زمستان فاقد گرمای کافی بودند، کارگران روزی یازده ساعت کار می‌کردند.

انواع اصلی ماشین - ابزارهای ساخته شده: اکثر ماشین ابزارهایی که در این زمان به‌کار می‌رفتند، ساخت کارخانهٔ فوق بودند. بیشتر ابعاد غیر اختصاصی، شکل آنها در کاتالوگی آمده بود که فصلهای اصلی آنها در زیر شرح داده می‌شود.

گرچه اکنون ابعاد یک ماشین به میلیمتر معین می‌شوند، به یاد می‌آوریم که در آن زمان، واحد اندازه‌گیری، متر بود.

همهٔ این دستگاههای تراش ممکن بود با میز یک‌پارچه یا میز دو تکه باشند، و تحویل آنها همراه قطعات زیر بود:

- یک‌سوپرت‌گردان، برای اینکه مخروطها و سطوح صاف را بگرداند؛
- یک‌سوپرت برای «دنبال کردن تیغچه و حرکت روی یک ریل»؛
- یک سه یا چهار نظام خودکار، با فک داخل، برای قطعات بسیار بزرگ؛
- یک صفحهٔ کارگیر برای قطعات دیگر؛
- چهار نگهدار پیستونی مرغک برای اینکه قطعات روی کار نگهدار، در یک محور قرار گیرند.
- سه آچار، سه چرخ طیار، «یک پیاله روغن و یک ظرف کوچک آب».

بعضی از مدلها که دنده تراش بودند، علاوه‌بر اینها: یک پیچ مادر (پیچ پیشبر طولی تیغچه) در طول میز داشتند، شانزده پیچ راهنمای دنده‌تراشی و یک کلاچ «برای متوقف کردن تیغچه، که در شکافها بسیار کوتاه می‌شد»، «یک اهرم شعاعی».

هر دستگاه شامل

- یک‌سوپرت‌گردان، برای اینکه مخروطها و سطوح صاف را بگرداند؛
- یک‌سوپرت دارای صفحهٔ رنده‌بند؛
- ابزارهایی برای بستن صفحه رنده‌بند؛

دستگاههای معمولی تراش

ارتفاع مرغکها	عرض میز	طول فاصله دو مرغک	قطر صفحهٔ کارگیر	بهای دستگاه
متر	متر	متر	متر	(فرانک)
۰٫۶۵	۰٫۸۰	۵٫۵۲	۱٫۳۰	۹۰۰۰
۰٫۵۵	۰٫۷۰	۴٫۶۵	۱٫۰۰	۷۵۰۰
۰٫۴۵	۰٫۶۱	۳٫۷۰	۰٫۹۰	۶۵۰۰
۰٫۳۵	۰٫۴۸	۳٫۸۰	۰٫۷۰	۵۵۰۰
۰٫۳۰	۰٫۳۶	۳٫۱۰	۰٫۶۰	۳۵۰۰
۰٫۲۵	۰٫۲۹	۲٫۰۰	۰٫۵۰	۲۵۰۰
۰٫۲۰	۰٫۲۲	۱٫۱۰	۰٫۳۰	۱۸۰۰
۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۹۰	۰٫۲۰	۱۴۰۰

دستگاههای تراش چرخ لوکوموتیو و واگن

این دستگاهها دو تا بودند، شامل دو صفحهٔ کارگیر با فکهای داخلی، دو نگهدار مرغک، دو سوپرت گردان، یک صفحه فونداسیون و صفحه دنده‌داری برای جلو بردن نگهدار مرغک متحرک.

بهای هر دستگاه سادهٔ تراش چرخ لوکوموتیو ۱۲۰۰۰ فرانک

بهای هر دستگاه سادهٔ تراش چرخ واگن ۸۰۰۰ فرانک

دستگاههای صفحه‌تراشی

دستگاههای صفحه‌تراشی فعال در این کارخانه در همکف گذاشته شده بودند. چهار دستگاه

دستگاههای کفتراشی

ارتفاع مرغکها	قطر صفحهٔ کارگیر	بهای دستگاه
متر	متر	فرانک
۱	۴٫۰۰	۸۰۰۰
۱	۳٫۰۰	۶۵۰۰
۱	۲٫۰۰	۵۰۰۰
۱	۱٫۵۰	۳۸۰۰

انواع گوناگون این دستگاهها در زیر معرفی می‌شوند:

شماره	طولی که می‌توان رندید	عرضی که می‌توان رندید	بهای هر دستگاه
	متر	متر	فرانک
۱	۰٫۵۵	۰٫۲۵	۵۰۰
۲	۱٫۰۰	۰٫۳۰	۱۵۰۰
۳	۱٫۳۰	۰٫۴۵	۱۸۰۰
۴	۲٫۴۰	۰٫۴۵	۲۵۰۰
۵	۲٫۸۰	۰٫۶۰	۳۲۰۰
۶	۳٫۰۰	۰٫۸۰	۴۲۰۰
۷	۲٫۲۰	۱٫۱۰	۴۰۰۰
۸	۳٫۸۰	۱٫۳۰	۵۵۰۰
۹	۵٫۲۰	۱٫۶۰	۶۵۰۰
۱۰	۶٫۶۰	۲٫۰۰	۷۰۰۰
۱۱	۹٫۲۰	۳٫۰۰	۱۷۰۰۰

بزرگ، سه دستگاه دراز و باریک و پنج دستگاه کوچکتر بودند که آنها هم می‌توانستند در سیلندرهای ریسندگی شیار بزنند، یا روی میله‌ها خانکشی کنند.

دستگاه شمارهٔ ۱ با دست، با تیغچهٔ متحرک کار می‌کند و در دو جهت می‌رندد. دستگاههای شمارهٔ ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ تیغچهٔ ثابت و گردان دارد و میز آن متحرک است. دستگاههای شمارهٔ ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ تیغچهٔ متحرک و گردان دارد (رنده‌های داخلتراش).

دستگاه چاک دهنده با ۱۴ سانتیمتر حرکت عرضی (کورس) تیغ رنده از نوع دوکاره بود، از یکطرف با میز مستطیلی، و با میز مدور از طرف دیگر. (ظرفیت مته‌کاری ماشین مته بازویی معین نشده است، اما این ماشینها، ویژهٔ سوراخ کردن صفحات اجاقهای دیگهای بخار بودند).

هر دستگاه با سه «فرزمدل» تحویل می‌شد.

هر دستگاه با سه منگنه و دو تیغ تحویل خواهد شد.

دستگاههای چاک‌زنی

حرکت عرضی تیغ رنده	طول چاک	بهای هر دستگاه
متر	متر	فرانک
۰٫۳۵	۲٫۰۰	۸۰۰۰
۰٫۲۵	۱٫۵۰	۵۰۰۰
۰٫۱۵	۱٫۰۰	۳۰۰۰
۰٫۱۴	۰٫۵۰	۳۵۰۰
۰٫۱۰	۰٫۴۴	۱۰۰۰

دستگاههای سوهانکاری گیره‌ای

حرکت عرضی تیغ رنده	بهای هر دستگاه
متر	فرانک
۰٫۱۴	۱۵۰۰
۰٫۱۰	۱۰۰۰

دستگاههای مته

	بهای هر دستگاه به فرانک
ماشین مته عمودی، برای سوراخهای ۰٫۶۰ متر	۱۲۰۰
ماشین مته عمودی، برای سوراخهای ۰٫۴۰ متر	۷۰۰
ماشین مته بازویی (رادیال)، با دو متر فاصلهٔ دو ستون	۶۰۰۰
ماشین مته بازویی (رادیال)، با یک متر فاصلهٔ دو ستون	۲۵۰۰

دستگاه تقسیم چرخدنده

	بهای هر دستگاه به فرانک
دستگاه با تقسیم‌کنندهٔ دومتری	۴۰۰۰
دستگاه با تقسیم‌کنندهٔ ۱٫۵ متری	۳۵۰۰
دستگاه با تقسیم‌کنندهٔ ۱ متری	۳۰۰۰

سرعت برش دستگاههای اصلی

برای دستگاههایی که در بالا شرح داده شدند، که از فلز، لقمه برداری می‌کنند، سرعتهایی که برای برش، سازندهٔ آنها توصیه کرده است، برپایه سانتیمتر در ثانیه، چنین‌اند:

دستگاههای تراش

برای فولاد	۵ سانتیمتر (۳ متر در دقیقه)
برای آهن	۱۳ سانتیمتر (۸ متر در دقیقه)
برای چدن نرم	۱۰ سانتیمتر (۶ متر در دقیقه)
برای مفرغ	۲۳ سانتیمتر (۱۴ متر در دقیقه)

سازندهٔ دستگاهها می‌افزاید: «زمانی‌که لنگ دستگاه را با دست می‌گردانید، سرعت محیطی قطعه به‌طور چشمگیری افزوده می‌شود، زیرا مدت تماس تیغچه با فلز کمتر خواهد شد و کمتر با قطعه درگیر خواهد بود و حرکت کوچکی با دست می‌تواند تراشه‌ها را با بسیار آسان، جدا سازد.

پرسهای برش و قیچیهای لنگ

	بهای هر دستگاه به فرانک
اندازه‌ای که باید بریده شود (۰٫۶۵ × ۰٫۱۸ متر)	۴۵۰۰
اندازه‌ای که باید بریده شود (۰٫۴۰ × ۰٫۱۸ متر)	۴۰۰۰
اندازه‌ای که باید بریده شود (۰٫۳۰ × ۰٫۱۴ متر)	۳۰۰۰
اندازه‌ای که باید بریده شود (۰٫۲۵ × ۰٫۱۰ متر)	۲۰۰۰
اندازه‌ای که باید بریده شود (۰٫۲۰ × ۰٫۰۸ متر)	۱۵۰۰

دستگاههای صفحه تراش

سرعت تیغ «برای فلزات مختلف»: ۱۰ سانتیمتر در ثانیه است

سوهانکاری گیره‌ای

برای ۱۰۰ میلیمتر حرکت عرضی (کورس)، سرعت تیغ «باید حدود دو برابر سرعتی باشد که به دستگاههای تراش ریلی داده می‌شود، اما پیشروی جنبی یا ضخامت تراشه‌ها به‌طور چشمگیری کمتر بود».

این سرعت چنین بود:

برای فولاد	۰/۱۵ سانتیمتر در ثانیه (۹متر در دقیقه)
برای آهن	۰/۲۰ سانتیمتر در ثانیه (۱۲متر در دقیقه)
برای چدن	۰/۲۳ سانتیمتر در ثانیه (۱۴ متر در دقیقه)
برای مس	۰/۴۶ سانتیمتر در ثانیه (۲۸ متر در دقیقه)

دستگاههای مته‌کاری

«براساس محیط تیغ مته»، سرعت باید چنین باشد:

برای فولاد	۰/۰۴۱	متر در ثانیه	(۲/۴۶ متر در دقیقه)
برای آهن	۰/۰۵۳	متر در ثانیه	(۳/۱۸ متر در دقیقه)
برای چدن	۰/۰۷۵	متر در ثانیه	(۴/۵ متر در دقیقه)
برای مس	۰/۱۶۰	متر در ثانیه	(۹/۶ متر در دقیقه)

تیغچه‌ها: در سال ۱۸۵۰ تیغچه‌های بسیار رایج از فولاد معمولی ساخته می‌شدند. دوام آنها، ناگزیر، نسبتاً کم و سرعت برش آنها برای فلزات آهنی، در هر دقیقه ۱۴ متر بود.

ماشین‌سازی نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم

حال در رشتهٔ ماشین ـ ابزار با نقطهٔ آغاز مرحلهٔ فوق‌العاده‌ای از پیشرفتهای علمی و صنعتی آشنا شدیم.

درواقع، در طی این نیمهٔ دوم است که منابع تازه‌ای از انرژی پدیدار شدند که مهمترین آنها، برق، در طرز کار و نیز توان کاری ماشین ـ ابزارها تأثیر چشمگیری داشت.

باز طی همین نیمه است که پیشرفت معجزآسای ممالک متحدهٔ امریکا، این کشور جدید،

در افزایش فراوان تولید کالاهای مصرفی خود را نشان می‌دهد؛ افزایش زیاد تجهیزات، و بویژه ماشین ـ ابزارهای مخصوص ساخت روزافزون و دقیق این تجهیزات نیز نتیجهٔ پدیده بالا می‌باشد.

در این زمان، صنعت ماشین ـ ابزار انگلستان تفوق خود را از دست داد و پس از اندک مدتی از امریکا بسیار عقب ماند؛ و صنعت آلمان در آغاز سدهٔ بیستم در داشتن مقام دوم رقیب خطرناکی برای آن شده بود.

صنعت ماشین ـ ابزارسازی امریکا: در نظر امریکاییها، اصطلاح ماشین ـ ابزار تا مدتها شامل ماشینهایی می‌شد که در لقمه برداری از فلز فعال بودند (**metal cutting machine tools**). تنها در ۱۵ دسامبر ۱۹۴۸ بود که (National Machine Tool Builders' Association) اساسنامهٔ خود را طوری تغییر داد تا سازندگان ماشینهای شکل دهنده به فلز (metal forming machine tools) نیز بتوانند عضو آن اتحادیه باشند.

در مقایسهٔ صنعت ماشین ـ ابزار امریکا با صنایع ماشین ابزار کشورهای دیگر، باید این واقعیت را اکیداً در نظر گرفت که ارقامی که بعداً در مورد امریکا خواهد آمد، تنها مربوط به ماشینهای لقمه‌برداری از فلزات است.

جالب است بدانیم که حدود سال ۱۸۵۰ بود که این صنعت، که به‌کارگیری اصول تعویض‌پذیر بودن قطعات، جان تازه‌ای به آن بخشیده بود، پیشرفت خود را شروع کرد.

امریکاییها می‌دانند که فکر تعویض‌پذیر ساختن قطعات در فرانسه (به توسط آقای گریبووال (۱۷۱۵ـ۱۷۸۹) مطرح شد؛ اما در اروپا تا مدتها آن را سیستم امریکایی می‌نامیدند.

درواقع تامس جفرسن (سفیر امریکا در پاریس)، در نامهٔ ۳۰ اوت ۱۷۸۵ خود این روش را به امریکاییها شناسانید. وی در این نامه می‌نویسد که در ملاقاتی که با یک مکانیسین فرانسوی به نام‌لوبلان داشته است، دیده است که وی با ابزار اختراعی خود قطعات تعویض‌پذیر اسلحه می‌سازد و کوشیده است ـ بدون نتیجه ـ تا دولت خود را بدین کار علاقه‌مند سازد.

در سال ۱۸۳۶ آقای سمیوئل کلت، پیستولهٔ خود را اختراع کرد و در ۱۸۵۴ برای ساخت این اسلحه با قطعات تعویض‌پذیر، کارخانهٔ خود را برپا داشت. آقای ج. و. رو که این حادثه را گزارش کرده است، اطمینان می‌دهد که کار با دست عملاً دیگر حذف شده و جای خود را به دستگاههای نیم یا تمام خودکار داده است.

ازجملهٔ این ماشینها می‌توان از یک دستگاه فرز نام برد که فرانسیس پرات طرح کرده بود و آقای ج. ک. لینکلن آن را ساخت، و تا مدتها (تا پس از جنگ جهانی اول) ویژه تراشکاری قطعات

بسیار کوچک اسلحه بود.

باز اختراع دستگاه تراشکاری نیم خودکار رولور و نیز اختراع دستگاه تراش خودکار را باید از برکات سیستم تعویض‌پذیر دانست، اما بخوبی روشن است که چنین دستگاههایی را، که به سادگی دستگاههای قبلی نبودند، نمی‌شد به‌شکل رضایتبخشی ساخت و به‌کار گرفت، مگر به برکت پیشرفتهایی که در امر دقت در کار به‌دست آمده بود.

تولیدات دیگری نیز در ساخت ماشین ـ ابزارها در این زمان نقش مهمی داشته‌اند. نخست تولید ساعت دیواری و ماشینهای دوزندگی، سپس، تولید دوچرخه و ماشین‌تحریر.

کارخانه‌های کلت به پیشرفت بزرگی دست یافت و مکانیسین‌های برجسته‌ای را معرفی کرد که از مهمترین آنان می‌توان از آقایان: (بولارد[1] و. گلیسن[2]، فرانسیس پرات، ایمس ویتنی[3] نام برد. شخص اخیر پدر آقای ایلای ویتنی است که در ۱۸۱۸ نخستین دستگاه فرز افقی را برای ساخت قطعات کوچک اسلحه، در آن زمان ساخت.

آقایان پرات و ویتنی در سال ۱۸۶۰ در هارتفورد[4] واقع درکونکتیکت شریک شدند و با ساختن انواع تفنگها در زمان جنگهای داخلی (۱۸۶۵ـ۱۸۶۱) چنان ثروتی اندوختند که توانستند شرکت پرات‌اند ویتنی کمپانی را در ۱۸۶۹ با سرمایهٔ ۳۵۰۰۰ دلار تأسیس کنند ـ سرمایه‌ای که در ۱۸۹۳ به سه میلیون دلار بالغ شد. کمی بعد، پس از جنگ سال ۱۸۷۰، پرات آگاه شد که کارخانه‌های پروس به ماشین ـ ابزار نیازمندند، فوراً خود را به آلمان رسانید و با سفارشی به مبلغ ۳۵۰ هزار دلار به امریکا بازگشت. این سفارش از سوی دولتهای دیگر اروپایی نیز داده شد، و درکل، بیش‌از دومیلیون دلار سفارش دریافت داشت، به‌طوری‌که بحران سال ۱۸۷۳ امریکا، هیچ‌گونه تأثیر جدی درکار کارخانه‌ای که در این اوان کیفیت تولیدات خود را به‌طور چشمگیری بالا و رأس‌المال را پایین آورده بود، نداشت.

این شرکت در عین اینکه شهرتش در ماشین‌سازی بر جای مانده بود، براثر جنگ اخیر در رشتهٔ ساخت موتورهای هواپیما نیز زبانزد شد.

همکاران آقایان پرات و ویتنی نیز به نوبهٔ خود ماشین‌ساز، و دارای شهرت جهانی شدند. اینان عبارت بودند از: و. ر. وارنر[5] و ا. سویزی[6] که در کلیولند شرکت وارنراند سویزی را تشکیل دادند، و آقای ف. فوت[7] شرکت Foote, Burte & Co، آقای ج. س. باردنس[8] شرکت *Bardons & Oliver* آقای جانستن[9] شرکت *Potter & Johnston*، آقای ژ. ن. لاپوانت[10]

1. E. Bullard 2. W. Gleason 3. Amos Whitney 4. Hartford 5. W. R. Warner
6. A. Swasey 7. A. F. Foot 8. G.C.Bardons 9. johnston 10. J. N. Lapointe

که مخترع ماشین خان‌کشی شد؛ و سرانجام، آقایان ویلیام گلیسن و بولارد که از پیش کلت می‌آمدند و آقای ف. ن. گاردنر، کارشناس ماشینهای سنگزنی.

بیشتر این نامها هنوز در بهترین مارکهای امریکایی به‌چشم می‌خورند.

آقای و. ر. وارنر و ا.سویزی به سال ۱۸۴۶ متولد شده بودند. آنان با همکاری یکدیگر در سال ۱۸۸۱، نخست در شیکاگو، سپس در کلیولند (اوهایو) به ساخت دستگاههای تراش اقدام کردند، سپس پیش از آنکه در ساخت دستگاههای تراش نیمه خودکار رولور تخصص یابند، ماشین ـ ابزارهای دیگری ساختند. این دستگاه نیمه خودکار همیشه مهمترین بخش برنامهٔ کاریکی از بزرگترین کارخانه‌های امریکایی ماشین ـ ابزار باقی ماند.

اما آقای و. گلیسن که در راچیستر (نیویورک) در سال ۱۸۶۵ ساکن شد در سال ۱۸۷۴ نخستین ماشینهای تراش چرخدنده‌های مخروطی را طرح کرد و آن را ساخت، وکارخانه‌های The Gleason Works نیز به بزرگترین و قشنگترین واحدهای صنعتی امریکا تبدیل شدند.

مرکز کلیولند با کارخانه‌های وارنر وا. سویزی، با کارخانهٔ باردنس و اولیویه، آمادهٔ ساخت همه گونه ماشینهای نیمه خودکار، سپس دستگاههای تراش خودکار شد. نخستین دستگاه تراش خودکار دارای چندین کارگیر در سال ۱۸۹۵ به توسط دو مکانیسین با نامهای هن[1] و هیک‌وسل[2] در همین شهر ساخته شد؛ این دستگاه تعداد زیادی قطعات دوچرخه را همزمان می‌ساخت. این آقایان چند سال بعد شرکت: National Acme Manufacturing را تأسیس کردند که در راس همهٔ تولیدکنندگان این نوع دستگاه تراش، در سراسر جهان جای گرفت.

در همین زمان، یعنی حدود ۱۸۸۰ مرکز دیگری تشکیل شد که بعدها به مهمترین مرکز ممالک متحدهٔ امریکا، نه تنها در شمال آن، که در جنوب همین ایالت اوهایو در سینسیناتی تبدیل شد. این مرکز با کمک مکانیسین‌های انگلیسی،آقایان: استپتو[3]، بعداً لاج[4] پایه‌گذار شرکت کنونی Lodge & Shipley Machine Tool Co و آقای ر. ک. لوبلوند[5]، پدر Le Blond Tool Co و آقای ج. گری[6] که شرکت G. C. Gray Co را تأسیس کرد که متخصص ساخت دستگاههای صفحهٔ تراش، و سرانجام (در ۱۸۸۹) شرکت Cincinnati Milling Machine Co را تشکیل داد که گویا هنوز مهمترین کارخانهٔ سازندهٔ ماشین ـ ابزار کشورهای سرمایه‌داری است، و اساساً در ساخت دستگاههای فرز و دستگاههای سنگزنی معروف؛ شهرت اجتماعی کنونی آن: Cincinnati Milacron Inc است.

---

1. Henn 2. Hakewessel 3. steptoe 4. Lodge 5. Le Blond 6. Gray

حال برای آشنایی با شمار زیادی از پیشگامان بسیار سرشناس به نیوانگلند برویم.

آقایان ر. س. لارنس (متولد ۱۸۱۷) کار خود را مانند بسیاری، با ساختن اسلحه آغاز کرد، کار او که تهیهٔ ۱۰۰۰۰ تفنگ بود با مشارکت س. ا. رابینز در ۱۸۴۴ انجام گرفت. آنان وسایل خود را با دستگاهی، که به‌طور افقی فرز می‌کرد، تجهیز کرده بودند. چنین فرزی را ف. و. هاو، پیش از لینکلن طرح کرده بود؛ زیرا فرز لینکلن ساخت سال ۱۸۵۰ بود.

بخشی از این کارخانه پس از گرفتاریهایی که به‌وجود آمد به شرکت Jones & Lamson Co واگذار شد، شرکتی که در سال ۱۸۸۹ در اسپرینگفیلد (ورمانت)، گهوارهٔ دیگر صنعت ماشین ـ ابزار امریکا تأسیس شد.: سرمهندس این مؤسسه، آقای جیمز هارتنس[1] بود که دستگاه تراش رولور را ـ که آقای هاو در ۴۰ سال پیش طرح کرده بود ـ تکمیل کرد و دستگاه تراش ریلی (بدون پیچ پیشبر ـ تیغچه) مجهز به چند تیغچه، به‌اصطلاح Lo-Swing را برای تراش قطعاتی که هزینهٔ اجرای آنها با دستگاههای پیشین بالا بود، طرح کرد.

هارتنس روزی با یکی از کارمندان انبار سلاحهای جدید، به نام آقای ا. ر. فلوز[2] (متولد ۱۸۶۵) که در آن زمان ۲۲ سال داشت ملاقات داشت؛ او را به کارگاه فرستاد. وی در آنجا مدت چند روز سر پیچها را فرز می‌کرد، بعد او را به دفتر تحقیقات منتقل کردند. آقای فلوز چند سال بعد (۱۸۹۶) ماشین تراش چرخدنده‌های ۳۶ اینچی خود را اختراع، و شرکتی را به نام خود، باز در اسپرینکفیلد تأسیس کرد ـ شرکتی که در جنب کارخانهٔ سومی، که جدیدتر بود، از پیشرفت باز ایستاد. کارخانه سوم با ساخت دستگاههای سنگزنی، طرح آقای و. ل. براینت[3] کار خود را شروع کرده بود. در اواسط سدهٔ نوزدهم در فیلادلفی یک مرکز مهم صنعتی تشکیل شد که شامل دو کارخانهٔ معظم: ویلیام سلرز، و بیمنت بود.

آقای ویلیام سلرز (متولد ۱۸۲۴) از کسانی بود که در تکمیل ماشین ـ ابزارها سهم زیادی داشت و چندین اختراع را به ثبت رسانیده بود. او در سال ۱۸۶۲ نوعی دستگاه صفحه تراش ساخت که میز آن را یک چرخدندهٔ مارپیچ ضربدری (هلیکوئیدی) کنترل می‌کرد و نظم حرکاتی که به آن میز داده می‌شد تا آن زمان بی‌سابقه بود.

دستگاههای سلرز، نه‌تنها به‌دلیل مرغوبیت ساخت، بلکه به این علت که آنها نیز در استاندارد کردن دنده‌ها، نقشی مشابه همکار معروف انگلیسی خود، ویتوورث داشتند با ویتوورث در یک ردیف قرار داده شدند. وی گام تازه‌ای برای دنده‌ها پیشنهاد کرد که رعایت آن در سال ۱۸۶۸ به امریکاییها توصیه شد. زمانی‌که دندهٔ سلرز شهرت یافت، ۲۷ سال از پیدایش (۱۸۴۱) گام ویتو

1. J. Hartness 2. E. R. Fellows 3. W. L. Bryant

ورث گذشته بود.

آقای ب. بوکسباوم[1]، گویا به ناحق، ادعا کرد که سلرز به‌طور وسیعی از کار ویتوورث ـ نه‌تنها از لحاظ شکل دنده، بلکه همچنین از نظر قالب‌گیری مصالح چدنی و حتی رنگ خاکستری ماشینهای خود، الهام گرفته است.

در پایان به یاد آوریم که سلرز که از همان سال ۱۸۸۰ به اهمیت اساسی کارهای فردریک و نیز لاوتیلور در رشتهٔ برش فلزات پی‌برده بود با دفاع از کارهای او در برابر کسانی‌که آن کارها را بسیار زمانگیر (بیش‌از ۲۰ سال) و پرهزینه (بیش‌از ۲۰۰۰۰۰ دلار) پیش‌بینی می‌کردند، نتیجه را به سود تیلور خاتمه داد.

نام یکی از معاصران سلرز هنوز بر روی دستگاههای فعال دیده می‌شود، و آن آقای بمینت است.

آقای و. ب. بمینت (متولد ۱۸۱۷) به ساخت ماشین ـ ابزار در فیلادلفی مشغول شد (۱۸۵۱) وسایل کار او ضعیف بود: دستگاه تراشی حدود ۴۵۰ میلیمتر ارتفاع مرغکها، با میز چوبی (که تسمه‌های آهنی به‌عنوان ریل روی آن کارگذاشته شده بود) و یک دستگاه صفحه‌تراشی با عرض ۱٫۲۰۰ متر بین ستونها و ۴٫۲۰۰ متر طول میز.

آقای ویلیام بیمنت نیز مانند سلرز، در ساخت ماشین ـ ابزارهای سنگین کارآمد شد. پیشرفت مؤسسه وی سریع بود: در سال ۱۹۰۰ به نام Niles Bement Pond Co خوانده شد که مدتهای زیادی در ردیف بهترین ماشین‌سازیهای امریکا جای داشت.

اما در شمال فیلادلفی، در نیوآرک واقع در نیوجرزی، یکی از قدیمی‌ترین کارخانه‌های ماشین ـ ابزار، مدتها فعالیت داشت. این کارخانه در ۱۸۳۳ بوسیلهٔ آقای ا. گولد[2] تأسیس شده بود و در سال ۱۸۷۷ با آقای او. ابرهارت[3] شریک شد تا تولیدات خود را در زمینهٔ ماشینهای تراش، مته، دستگاههای سوهانکاری گیره‌ای و ماشینهای تراش چرخدنده توسعه دهد. این دستگاهها مخصوص شرکت Gould & Eberhardt شدند که کارخانه‌های آنها به وُستر (ماساچوست) انتقال یافته بود. از پیشگامان صنعت امریکا، اکثر آنهایی که نامشان همیشه روی ماشین ـ ابزارهای دارای شهرت جهانی خوانده می‌شود همه را جز آقایان براون و شارپ نام بردیم.

آقای جوزف براون و لوسین شارپ در سال ۱۸۵۳، در پراویدنس[4] همکار شدند. آقای براون دستگاهی برای تقسیم خطی، طرح کرده و ساخته بود و در ۱۸۵۱ یک کولیس (ضخامت‌سنج) ساخت که هزارم اینچ را نشان می‌داد (در سال اول تنها چهار نمونه از آن فروخته شد).

1. B. Buxbaum 2. E. Gould 3. U. Eberhardt 4. providence

بعدها، یعنی در آغاز جنگ داخلی، آقای ف. و. هاو که تفنگهای زیادی در دست ساخت داشت، به آقای براون ساخت دستگاههای تراش رولور طرح خود را سفارش داد؛ اما آقای براون این دستگاهها را، با خودکار کردن گردش بر جک و جلو رفتن مکانیسم آزادکنندهٔ قطعه، پس از تمام شدن کار، تکمیل کرد.

حدود بیست سال بعد، یکی از مهندسان کارخانهٔ براون و شارپ به نام ولزلی[1]، خودکاری آنها را کامل کرد.

اما شهرت آقایان براون و شارپ بسیار فراتر از ساخت وسایل اندازه‌گیری و نیز دستگاههای خودکار تراش بود؛ اینان کار خود را در قسمت ساخت دستگاههای فرز، سپس دستگاههای سنگزنی توسعه دادند.

ما می‌دانیم که نخستین دستگاه فرز افقی، ساخت آقای ایلای ویتنی (۱۸۱۸) است و مراحل تکمیلی این دستگاه عبارتند از مدل گی اندسیلور[2] (حدود ۱۸۳۸)، سپس مدل آقای پرات (۱۸۵۰) و بالاخره رابینز و لارنس (۱۸۵۰).

آقای ف.و.هاو در ۱۸۵۲ نوع دیگری دستگاه فرز را طرح کرد که سر حامل تیغچه می‌توانست به‌طور عمودی جابه‌جا شود و میز دستگاه گیره‌ای داشت که روی یک پایهٔ مدرج می‌گردید. با همهٔ این احوال نمی‌توان آن را یک دستگاه اونیورسال نامید که مؤسسه برون‌اند شارپ آن را نه‌تنها برای ایجاد شیارهای مارپیچی تیغ‌مته، به‌طور غیر دستی، بلکه برای کارهای دیگری از همان نوع و رزوه‌کاری ساخته بود.

دستگاه نخست، طی چند ماه ساخته و در ۱۴ مارس ۱۸۶۲ در همان شهر به Providence Tool Coتحویل داده شد. این شرکت برای شرکت براون اندشارپ تیغ مته‌هایی مخصوص ساخت چرخهای خیاطی تهیه می‌کرد.

دستگاههای فرز اونیورسال براون اندشارپ پس از اندک مدتی به شهرت جهانی دست یافتند. نخستین پارتی فروش آنها به خارج، به فرانسه بود که از فرصت نمایشگاه عمومی پاریس سال ۱۸۶۷ استفاده شده بود.

باز، در جریان بازدید از این نمایشگاه بود که آنان با مشاهده یک کالیبر پیچ ریزسنج (میکرومتری)، که به نمایش گذاشته شده بود، کشف مهمی کردند.

این ابزار، کار تازه‌ای نبود و در ۷ سپتامبر ۱۸۴۸ آقای جان پالمر مکانیسین که کارگاهی در پاریس، خیابان ۱۶ مونمورانسی داشت به «همشهری، وزیر کشاورزی و بازرگانی» نوشته است که

1. Wolseley 2. Gay& Silver

«پانزده سال است که اختراع یک پیچ ریزسنج و ورنیه مدور را به ثبت رسانیده است».

اختراع آقای پالمر، همچون بسیاری اختراعات دیگر، از دید معاصرانش پنهان ماند و شایستگی وی زمانی آشکار شد که مؤسسه براون‌اند شارپ، ساخت آنها را در ممالک متحدهٔ امریکا تبلیغ کرد.

می‌توان در *Cours des arts me'caniques* نشریهٔ انستیتوی صنعتی شمال، در شهر لیل، در تاریخ ۱۹۰۵ چنین خواند: «ریزسنج که از روی نادانی، همراه نام پالمر (یک انگلیسی که برای اندازه‌گیری قطعات مونتاژی آن را به‌کار می‌برد) آمده است، برای اندازه‌گیری ضخامتها و ابعاد مورد استفاده قرار گرفته است.»

آقایان براون و شارپ، بخشی از کارخانهٔ خود را ویژهٔ ساخت چرخهای خیاطی کردند، کاری که نیازمند قطعاتی بود که وقتی بالاتر از آنچه در توان دستگاههای معمولی تراش است داشته باشند. از این‌رو، لزوم «تصحیح مجدد» کار دستگاه اخیر به کمک یک دستگاه سنگزنی (حدود ۱۸۶۳) به‌وجود آمد. برای این عملیات، وسیله‌ای برای سنگزنی، روی صفحهٔ رندهٔ بند دستگاههای معمولی تراش گذاشته شد و این کار، پس از بررسیهای متعددی که از سال ۱۸۶۸ شروع شد، و نخستین دستگاه سنگزنی حقیقی اونیورسال ساخته شد و در ژوئن ۱۸۷۶ در این کارگاه مورد استفاده قرار گرفت، ادامه داشت.

به‌دنبال‌این کار، انواع دیگری از سنگزنی سطوح صاف بوسیله آقای نورتون[1] طرح شدند. این شخص، مدیریت ساخت دستگاههای سنگزنی کارخانهٔ براون‌اند شارپ را، پیش از اینکه کارخانهٔ خود را در وورستر، Norton Grinding CO در ۱۹۰۰ برپا کند، به‌عهده گرفت. کارخانهٔ فوق را نباید با Norton Co که از سال ۱۸۷۹ ویژه ساخت دستگاههای سنگزنی شد، اشتباه گرفت.

در پایان یادآوری می‌کنیم که در سال ۱۸۷۷ کارخانهٔ معروف پرویدنس ساخت دستگاه تراش چرخدنده‌ها را در ردیف سوم تولیدات خود قرار داد و اکنون دیگر در فهرست فراورده‌های آن نیست.

شماری از سازندگان امریکایی ماشین ـ ابزارکه در نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم به اوج شهرت رسیدند در بالا از آنها نام نرفته است. اما بسیاری از آنان در مراکز صنعتی متعدد، کارخانه‌های بسیاری برپا داشتند. این جریان همراه با شدت مهاجرت به غرب بر اثر افزایش تدریجی تراکم جمعیت و زیاد شدن نیازهای آنان بود.

ارقامی که در زیر آورده می‌شود تصوری از سرعت گسترش صنعت در امریکا به‌دست می‌دهد:

1. Norton

ـ شبکهٔ راه‌آهن از ۸۷ کیلومتر در ۱۸۳۰ به ۵۳۳۰ کیلومتر در ۱۸۴۰، و به ۱۳۸۰۰ در ۱۸۵۰ رسید، و تنها در یک سال ۱۸۶۸ حدود ۵۰۰۰ کیلومتر، و در ۱۸۷۱ حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر راه‌آهن کشیده شد.

ـ تولید دوچرخه که در ۱۸۸۵ کمتر از ۱۱۰۰۰ دستگاه بود، در ۱۸۹۵ به ۶۰۰۰۰۰ دستگاه و در ۱۸۹۷ به یک میلیون رسید؛

ـ تولید چرخ‌خیاطی هاو، که در ۱۸۵۳ آغاز شد، در ۱۸۵۳ بیش‌از ۲۵۲۹ دستگاه نبود، اما پس از گذشت ده سال به دویست‌هزار، و در ۱۸۷۲ به ششصد هزار دستگاه بالغ شد؛

ـ نخستین ماشینهای تحریر در ۱۸۷۴ فروخته شد. در پایان سده، این دستیار پر ارزش کارمندان دفتری، به‌طور وسیعی در اکثر ادارات و کارگاههای خصوصی مورد استفاده بود.

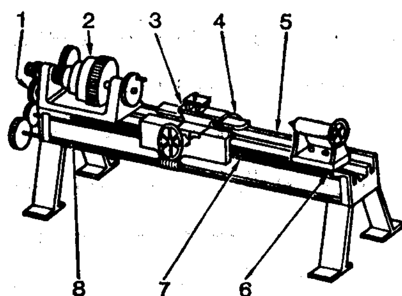
در اثر مصرف روزافزون فلزات، تولید ماشین ـ ابزارها، لزوم دستگاههای تازهٔ بیش از پیش مخصوص روشهای تراشکاری هرچه سریعتر و دقیقتر احساس شد.

بدین‌ترتیب، صنعت ماشین ـ ابزار امریکا که با دوازده کارخانهٔ اصلی (با ۲۰۰۰ کارکنان) در ۱۸۷۰ شکل گرفت، در ۱۸۷۷ دارای ۴۴ و در ۱۹۰۰ دارای ۱۵۰ ماشین‌ساز معروف بود.

صنعت ماشین ـ ابزار در انگلستان: می‌دانیم که سازندگان انگلیسی ماشین ـ ابزار، پایه‌گذار واقعی این صنعت بودند و در سراسر نیمهٔ نخست سدهٔ نوزدهم، استادان بی‌چون و چرای این رشته باقی ماندند (شکل ۷). دستگاههای ویتوورث، بویژه درکشورهای دیگر، نخست فرانسه، به توسط فرانسوا کالا، و بعد در ممالک متحدهٔ امریکا، بوسیلهٔ ویلیام سلرز، مدل کار شدند.

در نمایشگاه عمومی لندن ۱۸۵۱، ماشین ـ ابزارهای انگلیسی، هنوز متنوعترین و بهترین بودند. دستگاههای ویتوورث، بیرون از مسابقه گذاشته شدند. تحقیقات در راه دقت بیشتر، این سازندهٔ مشهور انگلیسی را برای ایجاد سطوح صاف، مدتها پیش از Freeland Tool Works که امریکاییها می‌گویند مخترع استفاده از شابر یالیسه در ۱۸۵۷ بوده است، به کاربرد این وسیله هدایت کرد.

آقای ویتوورث (متولد ۱۸۰۳) در ۱۸۵۱، که ۴۸ سال داشت نفوذ فراوان یافته بود و این نفوذ را سالهای زیادی حفظ کرد، اما همان‌طورکه غالباً در چنین مواردی پیش می‌آید، گویا رفته رفته که پیرتر می‌شد، بیش‌از پیش به تکیه زدن به افتخارات گذشتهٔ خود گرایش می‌یافت. شخصی امریکایی به نام پورترکه به سال ۱۸۶۵ ازکارخانه او دیدن کرده بود می‌نویسد که درکارخانه ویتوورث روشهای گذشته برقرار، و کیفیت کار پایین آمده بود.



شکل ۷.اصلاحاتی که انگلیسیها در ماشین تراش وارد کرده‌اند.
۱. اهرم شعاعی، مادزلی؛ ۲. نگهدار مرغک مخروطی و با جعبه‌دنده، رابرتس؛ ۳. صفحهٔ رنده‌بند، مادزلی؛ ۴. جابه‌جایی خودکار عرضی، ویتوورث؛ ۵. ریل تنگ، فاکس؛ ۶. میلهٔ دنده‌دار، فاکس؛ ۷. پیچ اصلی، مادزلی؛ ۸. میل‌فرمان، فاکس.

انگلستان که اساساً تا آن زمان صادرکنندهٔ ماشین ـ ابزار بود به کشور واردکننده آن تبدیل شد و ساخت جنگ‌افزارهای انفیلد[1] با دستگاههای کارخانهٔ پرات اندویتنی و با روش‌های امریکایی در سال ۱۸۵۵ آغاز شد. بعضی از ماشین‌سازان انگلیسی، مانند آقای شنکس[2]، برای مته‌های معمولی (عمودی) از مدلهای آن طرف اقیانوس اطلس الهام گرفتند.

به‌هنگام گشایش نمایشگاه عمومی لندن در ۱۸۶۲، دیده شد که در طی یازده سالی که از نمایشگاه پیشین گذشته است، پیشرفتهای ماشین ـ ابزار در انگلستان ناچیز بوده است.

این دوره در جا زدن این صنعت در انگلستان چندین ده سال جان سختی کرد و طرز فکر کارگران انگلیسی و نظاماتی که سندیکاهای آنها مقرر داشته بودند پشتیبان آن شد. این نظامات، بویژه قدغن کرده بودند که دو دستگاه را یک کارگر اداره کند؛ و واردات و ساخت دستگاههای خودکار، حتی افزایش کارایی بعضی دستگاهها، ممنوع شده بود.

همهٔ این عوامل، نه در کاستن از هزینهٔ تولید، و نه در بهبود وسایل کارخانه‌هایی که فرسوده شده بودند، تأثیری نداشتند.

با وارد شدن ابزارهای امریکایی (سه نظام کوشمن[3] و تیغ مته مورس)، و در دنبال آنها وارد شدن ماشینهای ساخت وسایل لازم، مثلاً، برای تولید هرچه بیشتر دوچرخه (چون ماشین‌سازان انگلیسی از تأمین مصالح آنها عاجز بودند) وضع تغییر کرد.

1. Enfield 2. Shanks 3. Cushman

اقتصاد انگلستان در ۱۸۹۷ در اثر اعتصاباتی که گریبان صنایع درگیر مبارزه با ترید ـ یونیون ها را گرفته بود و نیز خرید روز افزون دستگاههای ضرور برای نوسازی تجهیزات آنها، متزلزل شد. با این حال، چند ماشین‌ساز خود را دارای آمادگی برای زنده کردن مجدد شهرت ویتوورث نشان دادند. مشهورترین آنها سرالفرد هربرت[1] پسر اجاره‌داری بود که در رؤیای جانشینی برادر بزرگش بود که در کاونتری، زادگاه صنعت دوچرخه سازی، کارگاه کوچکی داشت.

الفرد هربرت در آن زمان توانست با سرمایهٔ خود (و نیز آقای و. س. هابرد[2] که شریکش شد) آن کارگاه را، که در آن کارآموزی کرده بود، بخرد. شرکت هربرت ـ هابرد نخست موفق شد یک چرخ پرداخت و بعد یک متهٔ معمولی (عمودی)، دو نمونهٔ دستگاه کوچک موازی تراش (دستگاه معمولی) و چند دستگاه ویژهٔ مخصوص دوچرخه بسازد. این شرکت همچنین با موفقیت در تولید گلگیر (اتومبیل و ...)، هفته‌ای چهار تن، وارد شد.

این شرکت پس از اندک مدتی یک سرویس واردات را سازمان و توسعه داد، که کار آن فروش لوله‌های فولادی فرانسوی، برای ساختن چرخ‌آلات بود؛ سپس به فروش ماشین‌آلات خارجی پرداخت. بدین‌ترتیب، به مهمترین مؤسسه ساخت و درعین‌حال واردکنندهٔ اصلی ماشین ـ ابزار به کشور خود تبدیل شد.

آقای هربرت با تأسی از نمونهٔ کار همکاران و رقبای امریکایی خود، مربوط به حدود ده سال پیش، در ۱۸۹۰ نخستین، دستگاه تراش رولور را برای قطعات ۶ اینچی ساخت، این قطر، لااقل در اساس ویژهٔ تراشکاری، در سریهای متوسط، قطعات دوچرخه بود. چند سال پس از آن در کاتالوگ سال ۱۸۹۶ وی، چهار نوع دستگاه تراش رولور با ظرفیتهای مختلف دیده می‌شد که بهای فروش آنها برای نمره ۴، بزرگتر از بقیه، ۸۰ پوند تعیین شده بود.

بالاخره آقای هربرت در پایان سدهٔ نوزدهم، دستگاه تراش رولور اختراعی خود را که چند منظوره بود، ساخت. نام آقایان اسکویث[3]، باتلر، هولروید[4]، لنگ[5]، ریچاردز، وآرچدیل[6] را می‌توان به نام وی افزود.

صنعت ماشین‌سازی آلمان: نخستین سازندگان ماشین ـ ابزار در آلمان در سال ۱۸۵۰ پدید آمدند.

در گذشته، ماشین‌سازی در آلمان، ضعیف، پرهزینه و نامرغوب بود. نخستین راه‌های آهن، تقریباً به‌طور انحصاری با مصالح و وسایل انگلستان و بلژیک ساخته شد. با وجود دستمزدهای بسیار پایین (در جنوب آلمان: یک ششم دستمزد انگلیسیها و یک چهارم فرانسویها)، هزینهٔ زیاد

---

1. A. Herbert 2. Hubbard 3. Asquith 4. Holroyd 5. Lang 6. Archdale

حمل و نقل و تأسیسات که دو برابر بهای خرید مثلاً دستگاههای انگلیسی بودند، آنها، سر جمع، ۲۵٪ ارزانتر از آلمانیها قیمت داشتند.

در ناحیهٔ کمنیتس، که مرکز نساجی بود، حدود سال ۱۸۵۰، کارگاههای ساخت وسایل نساجی بتدریج تأسیس و بعضی از آنها هم دست به‌کار ساخت ماشین ـ ابزار شدند، و در این راه از مدلهای انگلیسی، بویژه ویتوورث، کم و بیش الهام می‌گرفتند. از جملهٔ این افراد می‌توان از تسیمرمان و هارتمان نام برد.

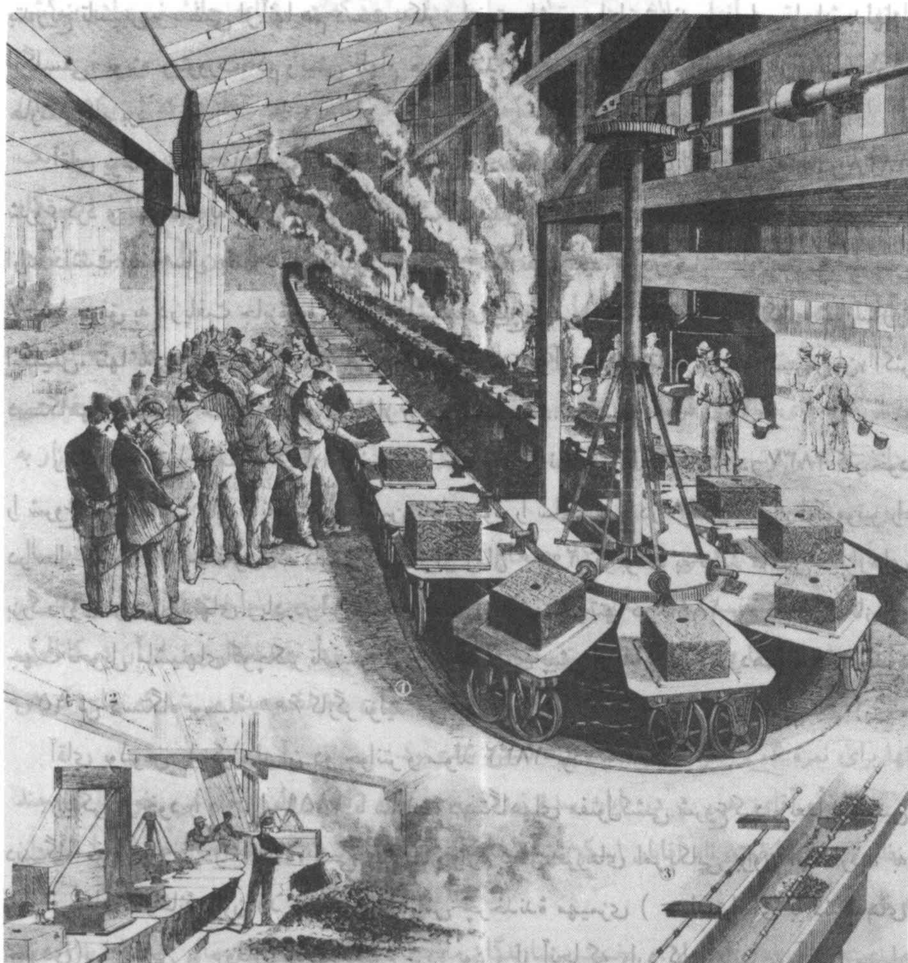
آقای یوهان تسیمرمان (متولد ۱۸۲۰) ساخت دستگاههای کوچک تراش و مته را در ۱۸۴۸ شروع کرد و بسرعت به پیش رفت. در نمایشگاه لندن ۱۸۶۲ چند دستگاه تراش و سنگزنی را ارائه داشت. سه سال بعد، تعداد کارگران وی به ۵۵۰ نفر رسید، و در نمایشگاه عمومی پاریس ۱۸۶۷ موفق به دریافت جایزهٔ اول بخاطر ماشینهای پیچ‌تراشی خود شد، در حالی که ماشین‌سازان انگلیس، تنها به دریافت پاداشهای جزئی توفیق یافتند. از آن پس، برنامه تولیدی تسیمرمان، اکثر دستگاههای رایج، و حتی ماشینهای بخار را هم شامل شد.

ریشارد هارتمان (متولد ۱۸۰۹)، نیز با ساخت وسایل نساجی با سه کارگر، در ۱۸۳۷ کار خود را شروع کرد. او در ۱۸۴۰ نخستین ماشین بخار خود را ساخت، و در ۱۸۴۸ اولین لوکوموتیو را. در سال ۱۸۵۷، کارخانهٔ وی، که کارکنان آن در آن زمان ۲۰۰۰ نفر بودند به تولید ماشین ـ ابزارهای بزرگ روی آورد و مدتهای زیاد در این رشته تخصص داشت؛ و تنها در ۱۸۸۵ بود که کارگاه تازه‌ای جهت تحویل ماشینهای کوچکتر تأسیس کرد. مؤسسه وی پیش از پایان سدهٔ نوزدهم، سالانه حدود ۱۵۰۰ تن دستگاه بوسیلهٔ ۶۰۰ کارگر تولید می‌کرد.

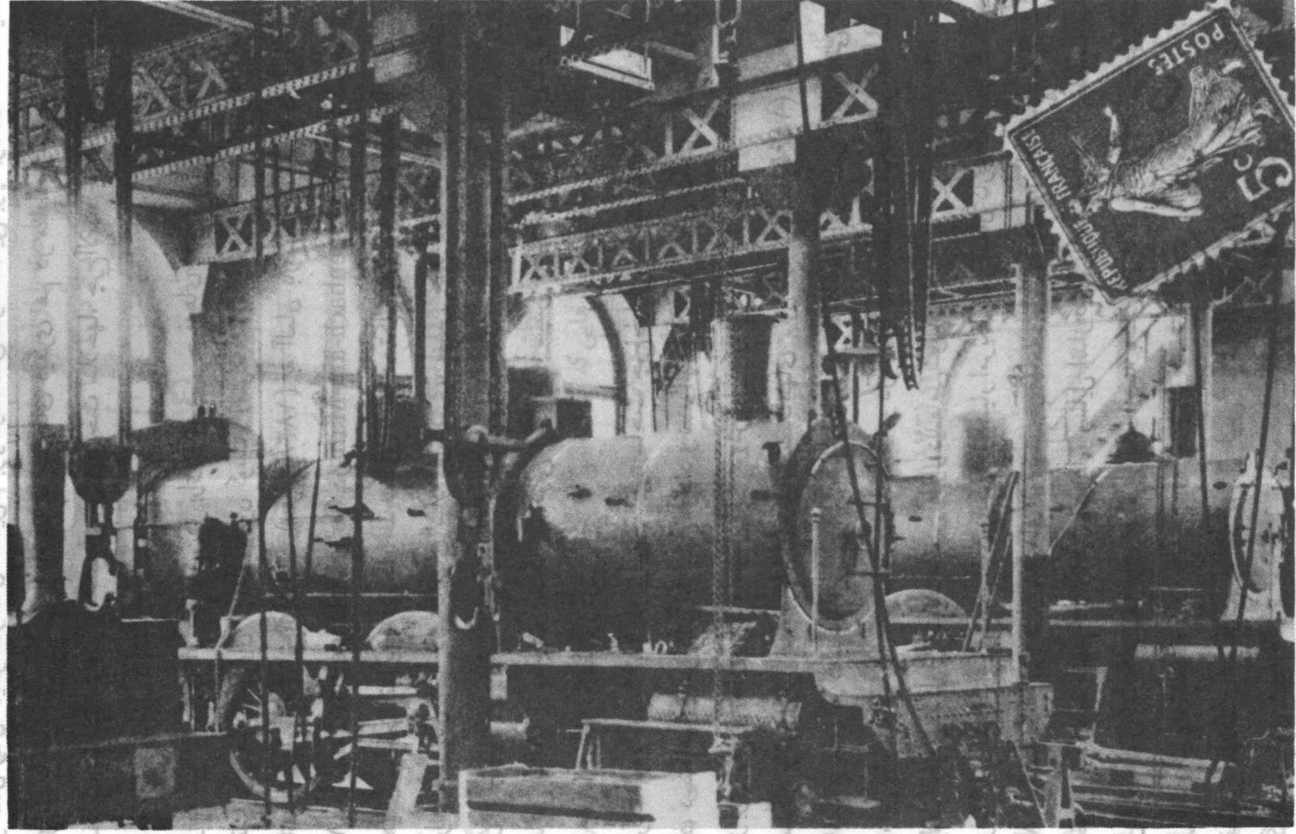
آقای یولیوس راینکر[1]، از آن دو جوانتر و متولد ۱۸۳۲ بود.

راینکر کار خود را در سال ۱۸۵۹ با ساخت دستگاههای مفتول‌کشی شروع کرد و بعداً نخستین دستگاه فرز خود را در ۱۸۷۰، کمی پیش از وارد کردن فرزهای امریکایی براون اندشارپ، به بازار فرستاد. کارخانهٔ براون اند شارپ برای تراش چرخندهٔ مهیمزی (= استوانه‌ای با دندانه‌های عمودی)، فرزهایی با پروفیل ثابت اختراع کرده بود و از آنجا که وارد کردن آنها به آلمان بسیار گران تمام می‌شد، راینکر تصمیم به ساخت آنها گرفت، و بنابراین، برای رفع نیازهای خود نخستین دستگاه تراش کله‌زنی را در ۱۸۸۲ ساخت. چند سال پس از آن (حدود ۱۸۸۵) در کارگاههای وی یک دستگاه دنده‌تراشی (فرز مدول)، از نوع امریکایی Bilgram و نیز نخستین دستگاه سنگزنی استوانه‌ای آلمان (حدود ۱۸۹۰) ساخته شدند.

1. Julius Reinecker



تابلوی ۷. دستگاه ناقل درجه‌های ریخته‌گری (حدود ۱۸۹۰).



تابلوی ۸. کارگاه لوکوموتیوسازی شنایدر (۱۹۰۵ـ۱۹۱۰).

در همان زمان، دیگر سازندگان ماشین ـ ابزار در ساکس کارخانه‌هایی بر پا کردند که نه اهمیت و نه شهرت کارخانه‌های پیشین را یافتند. کارخانه‌های دیگری هم در مناطقی تأسیس شدند که مانند ممالک متحدهٔ امریکا و انگلستان، برای ساخت سلاحها، چرخ‌آلات، چرخ‌خیاطی، نیاز روز افزونی به ماشین ـ ابزار داشتند.

در گذشته، شماری از مکانیسین‌ها برای یادگرفتن حرفه‌های خود به بریتانیای کبیر سفر می‌کردند. ازآن میان می‌توان از آقای آنتون کولت[1] (متولد ۱۸۲۰) نام برد که سالیان زیادی در آنجا ماند و همراه آقای اتو انگلهارت (متولد ۱۸۳۸) به آلمان بازگشت و با وی در برپاکردن (۱۸۶۲) مؤسسه Collet &Engelhard در Oppenbach-am-Main شریک شد. نخستین دستگاههای ساخت آنها یک دستگاه حدیده‌کاری شبیه دستگاه سلرز بود که در نمایشگاه عمومی لندن ارائه شد. آنان بعداً دستگاههای سادهٔ تراشکاری، سپس چند دستگاه کفتراشی ساختند. نخستین دستگاه چرخ‌تراش آنان در ۱۸۶۷ تحویل مشتری شد و کمی بعد مته‌های بازویی (= شعاعی ۱۸۶۵). ساخت دستگاه سنگزنی (۱۸۶۶)، سپس دستگاههای فرزکاری ـ برقوزنی افقی (۱۸۷۰)، آنان را مشهور کرد.

شرکت لووه[2] در ۱۸۶۹ در برلین بمنظور ساخت چرخ‌خیاطی ساخته شد. این شرکت برای کار خود، دستگاههای امریکایی را، پیش از داد و ستد آنها در ۱۸۷۳، برای ساختن ماشین ـ ابزار، در آغاز برای رفع نیازهای خود و سپس برای فروش وارد کرد.

دستگاه تراش رولور آنها (۱۸۸۱)، کپی دستگاههای براون اند شارپ (۱۸۶۵) بود و فرز آن شباهت زیادی به دستگاه فرز این سازنده مشهور امریکا داشت. در همین اوان، یعنی در ۱۸۷۱، این مؤسسه دست به‌کار ساختن اسلحه شد و در آلمان، مانند ممالک متحدهٔ امریکا، همان محصولات اولیهٔ پیشگامان متعدد ماشین ـ ابزار دیده می‌شوند.

در ۱۸۹۵ مدیر این مؤسسه، آقای پایکن[3] رهسپار امریکا شد ـ همان کاری که لودویگ لووه در ۱۸۷۰ برای مطالعهٔ ابزارها و روش‌های ساخت چرخهای خیاطی کرده بود. وی همراه اورکوت[4] رفیق خود، نه‌تنها همهٔ سهام دستگاهها، ابزارها و وسایل اندازه‌گیری را خرید بلکه از خدمات سه مهندس متخصص امریکایی نیز برای ادارهٔ هر یک از سه بخش کارخانه: ماشین ـ ابزار، تجهیزات و وسایل اندازه‌گیری، استفاده کرد.

نخستین مهندس امریکایی به نام س. ل. لیبی[5] زبان آلمانی نمی‌دانست و آقای گئورک شلزینگر مترجم وی شد.

1. A. Collet 2. Loewe 3. Pajeken 4. Orcutt 5. C. L. Libbey

آقای لووه، چند سال بعد، در آغاز سدهٔ بیستم، به کمک یک تعرفهٔ گمرکی حمایت کننده توانست چندین اجازهٔ ساخت را از امریکا به‌دست آورد و مصمم دست به‌کار ساخت ماشین ـ ابزار و تجهیزات شد، درحالی‌که مثلاً در ۱۸۷۳ تولیدات وی چنین تقسیم شده بود.

ماشین ـ آلات	۱۷۲ کارگر	۹۲ دستگاه
چرخ‌خیاطی	۱۳۱ کارگر	۱۲۰ دستگاه
اسلحه	۶۰۶ کارگر	۲۸۲ دستگاه

ساخت تفنگ مدل 71 دوسوم کارگران و بیش‌از نیمی از دستگاهها را جذب کرده بود.

در برلین، در جوار لووه، ماشین‌سازان دیگری هم بودند از جمله:

Frister & Rossmann (که در سال ۱۸۷۶ فرز امریکایی لینکلن راکپی می‌کرد)، Max Hasse که مؤسسه Hasse & Wred را تشکیل داد و از سال ۱۸۷۱ به ساخت دستگاههای کوچک پرداخت؛ آقای گ. کارگر[1] که از سال ۱۸۶۹ به ساخت انواع دستگاهها، از آنجمله دستگاههای مربوط به ساخت مهمات اشتغال داشت.

در آلمان، بیشتر ماشین ـ ابزارهایی که ساخته می‌شد کپی ماشین ابزارهای بهترین ماشین‌سازان امریکا: براون‌اندشارپ، پرات اندویتنی، وسلرز بودند.

با این حال، حدود سال ۱۸۶۰ گرایشی به‌سوی ساخت دستگاههای دقیقاً آلمانی، پدیدار، و در عین حال کیفیت دستگاهها نیز بهتر شد.

در فرانکفورت، مرکزی برای ساخت دستگاههای سنگزنی تأسیس شد که به مرکز ساخت دستگاههای سنگزنی باکارگاههای;(۱۸۷۱) Mayer & Schmidt ;(۱۸۷۱) Naxos-union و (۱۸۹۶) F. Schmalz تبدیل شد.

موسسهٔ H. Wohlenberg در هانوور (۱۸۷۲) و مؤسسه Pittler در لایپزیگ (۱۸۸۹) را نیز به یاد می‌آوریم.

آقای ویلهلم فون پیتلر (متولد ۱۸۵۴) در سال ۱۸۸۷ اختراع نوعی چرخ‌خیاطی تکمیل شده را به ثبت رسانید و ساخت آن را نیز عهده‌دار شد. آغاز صنعت ماشین ـ ابزار وی سال ۱۸۸۹، با ساخت دستگاههای تراش رومیزی بود. پیتلر از سال بعد، نخستین دستگاه تراش رولور با شش تیغچه را، که ۲۴۰ کیلوگرم وزن داشت تحویل داد. این دستگاه، از آن پس همواره در تکامل بود و پیتلر متخصص ساخت آن شد. پیتلر، نخستین دستگاه اختراعی خود، یعنی دستگاه تراش رولور با محور افقی را که می‌توانست، تا ۱۶ تیغچه داشته باشد، در سال ۱۸۹۴ به نمایش گذارد.

1. G. Karger

در همان زمان دو ماشین‌ساز دیگر، که مانند قبلی، شهرت جهانی یافتند، کار خود را در مغرب آلمان آغاز کردند. اینان آقایان: شیس[1] و واگنر بودند.

آقای ارنست شیس ساخت انواع ماشین ـ ابزار را در سال ۱۸۶۹ یعنی زمانی شروع کرد که هنوز در ساخت مدلهای سنگین و بویژه دستگاههای صفحه‌تراشی (تراش عمودی) تخصصی نداشت.

پرداخت پول بوسیلهٔ فرانسه به‌عنوان غرامت جنگ به آلمان، از همان سال ۱۸۷۱ صنعت این کشور را شکوفا کرد. علی‌رغم بحران بسیار شدید سال ۱۸۷۳ ساخت ماشین ـ ابزار چنان بالا گرفت که در سرشماری اول دسامبر سال ۱۸۷۵، تنها در پروس ارقام زیر به‌دست آمد:

فرز	۲٬۶۹۵ دستگاه
صفحه‌تراشی، چاکزنی، سوهانکاری گیره‌ای	۶٬۲۲۸ دستگاه
انواع مته‌ها	۹٬۹۴۳ دستگاه
دستگاههای تراش	۲۲٬۱۱۷ دستگاه

اکثر این دستگاهها، وارداتی بودند و سازندگان آلمانی می‌توانستند بدرستی فکر کنند که نوسازی و افزایش این مجموعه، سبب فروش زیاد آنها خواهد شد. توسعهٔ کارخانه‌های شیس چنان سریع بود که در پایان سدهٔ نوزدهم، بیش‌از ۵۰۰۰۰ مترمربع زمین با شش ماشین بخار، با توان کلی ۲۲۰ اسب، سه دینام و حدود ۲۰۰ ماشین ـ ابزار، در کارگاه مکانیک در اختیار داشت.

آقای واگنر در نزدیکی کارخانه‌های خود، در دورتموند، در سال ۱۸۶۵، شرکتی تأسیس کرد که هنوز برجاست، و دستگاههای بسیار سنگین می‌سازد. سپس، به‌طور پیاپی، در ناحیه رور[2] نیز، تنها طی چند سال، در فروریپ[3] (۱۸۶۷)، دویچلند (۱۸۷۲)، و تأسیسات دیگری که اکنون از میان رفته‌اند، برپا شدند. باز، که به جنوب برویم، در منطقهٔ شتوتکارت، گروه دیگری، شرکت بولی[4] را در ۱۸۷۰ در اسلینگن[5] (اقامتگاه آقای کارل مار[6]، که در سال ۱۸۶۱ کارگاه کوچکی برای ساخت ابزارهای اندازه‌گیری در آنجا تأسیس کرده بود) تشکیل دادند؛ شرکت بورینگر[7] که کار خود را با ساختن دستگاههای بخاری در ۱۸۴۳ شروع کرد و شرکت ل. شولر[8] با سهامی خاص، که هر دو شرکت در کوپینگن[9] بودند.

آقای لویی شولر در یک کارگاه کوچک چلنگری کار خود را شروع کرد. او در سال ۱۸۵۷

1. E. Schiess 2. Ruhr 3. Froriep 4. Boley 5. Esslingen 6. Carl Mahr
7. Böhringer 8. L. Schuler 9. Cöppingen

چیزی را که خود «دستگاه تراش انگلیسی» می‌نامید ساخت. این، نخستین دستگاه مؤسسه‌ای بود که موفقیتهای آن در زمینهٔ ماشین ـ ابزار ویژهٔ کار روی ورقهای فلزی، بعدها، در سراسر اروپا مقام نخست را یافت.

آقای ی. ب. وینکل هوفر[1] (متولد ۱۸۵۹) و آقای ر. ا. ینیکه[2] (متولد ۱۸۵۸)، با هم در سال ۱۸۸۵ درکمنیتس نخست یک مؤسسه بازرگانی تشکیل دادند و سپس دوچرخه‌های پایی ساختند که آن را Wanderer می‌نامیدند. برای ساخت این دوچرخه‌ها که با ساخت موتورسیکلتها تکمیل شدند، و نیز برای ساخت ماشین تحریر، که در سال ۱۹۰۳ تصمیم به ساخت آن گرفته شد، مؤسسه واندرر ورکه، چند دستگاه فرز ساخت. این مؤسسه بعدها با ساخت ردیف طویلی از دستگاهها، که حتی شامل دستگاههای فرز دنده هم می‌شد، توسعهٔ فراوان یافت.

خلاصهٔ کلام همصدا با برتولد بوکسباوم می‌توان گفت که آغاز صنعت آلمان در رشتهٔ ماشین ـ ابزار، در سه مرحله بوده است. مرحلهٔ اول متأثر از نفوذ صنعتگران انگلیسی بود؛ و مرحلهٔ دوم از امریکا؛ و بالاخره سومین مرحله که در جریان آن، ماشین‌سازان آلمانی با کندی خود را از طرز تفکر خارجی آزاد کردند.

می‌توان گفت که در ۱۸۹۷ با حساب سازندگان ماشینهای بخاری، مجموعاً ۲۲۰ مؤسسه ساخت ماشین ـ ابزار وجود داشتند که درصد بزرگی از این رقم مربوط به کارگاههای کوچک است.

صنعت ماشین ـ ابزار فرانسه: هستهٔ این صنعت در فرانسه به سال ۱۸۵۰ برمی‌گردد؛ در سال ۱۸۵۵ که نمایشگاه عمومی در پاریس گشایش یافت، نمایشگاهی که ناپلئون سوم، پاله دولندوستری (کاخ صنعت) را در شانزلیزه برای آن ساخته بود، فرانسه در آن جای وسیعی را اشغال کرد.

باید به‌نامهای پیشگامان از قبیل کالا، دکوستر و گرافنستادن[3] نامهای کِل، «در شایو، حوالی پاریس» سازندهٔ انواع دستگاهها؛ رودلف دیکهوف[4]، دربار ـ لو ـ دوک (واقع در موز) مخصوص ساخت دستگاههای چرخدنده؛ فارکو «در بندر سنتوئن، حوالی پاریس» ویژهٔ ساخت وسایل آهنگری؛ ورال[5]، میدلتون[6]، و الول[7] در پاریس، سازندهٔ انواع دستگاهها، پولونسو در پاریس، سازندهٔ دستگاه تراش چهار تیغه برای چرخهای واگنها؛ گوون «در باتینیول، نزدیک پاریس» ویژهٔ ساخت چکشهای هاونی؛ پیا، در پاریس، متخصص ساخت دستگاههای تراش چرخدنده و شماری دیگر از ماشین‌سازان را اضافه کرد.

این نامها فراموش شدند، شماری که پس از اندک مدتی به سیدروژی، ریخته‌گری و دیگر

1. J. B. Winklhofer 2. R. A. Jaenicke 3. Graffenstaden 4. R. Dyckhoff 5. Varral
6. Middleton 7. Elwell

رشته‌های مکانیکی روی آوردند از یاد برده شدند. تنها نام دیکهوف در محل بار ـ لو ـ دوک ماندنی شد، پسر آقای رودلف دیکهوف، سازندهٔ ماشین ـ ابزار، که رئیس دفتر تحقیقات گوستاو ایفل بود و با این عنوان در سال ۱۸۷۸ نخستین طرح این برج را تنظیم کرد.

تامس الول (۱۸۱۲ـ۱۸۸۰) در کارخانه‌های ویتوورث مسؤول مونتاژ بود و در حدود سال ۱۸۴۰ آقای ویتوورث وی را برای انجام کاری به فرانسه فرستاد. او در فرانسه ماند. وی کارگاه کوچکی را در پاریس، در ملتقای خیابانهای ترودن و روششوار، برای تعمیرات مکانیکی کوچک تأسیس کرد. در سال ۱۸۵۵ شرکت وی با آقایان ورال و میدلتون به وی امکان داد که در محلی نزدیک به آنجا، کارخانه‌ای برپا دارد، و بتدریج در ساختن ماشین ـ ابزارهای سنگین پرآوازه شود.

حدود سال ۱۸۷۲ بود که تعدادی دستگاه برای برقوکاری توپهای سنگین نیروی دریایی به کارخانهٔ فوندری ناسیونال واقع در روئل تحویل شد. بعضی از این دستگاهها ۲۰ متر طول و بیش از ۱۳۰ تن وزن داشتند.

در کتابی که چند آلمانی با نامهای امیل یورته[1] و اوتومیتسشکه[2] به زبان فرانسه با عنوان Le Fraisage تألیف کرده‌اند، دربارهٔ چند چهره جالب، نوشته‌اند که «یک ماشین تیزکنندهٔ فرزها، که بسیار مشهور است و چندین سال است که کار می‌کند، در مزون اورلیکون در زوریخ با استفاده از آخرین دستاوردها ساخته شده است، این ماشین باید به نام مخترع خود، مهندس کروتسبرگر[3] خوانده شود».

تردیدی نیست که کروتسبرگر یکی از برجسته‌ترین مکانیسین‌های فرانسه، در سدهٔ پیش است. وی در سن ۲۶ سالگی در مؤسسه شلومبرگر، در گبویلر[4] نقشه‌کش بود و در آنجا آموزش دید و مونتاژکننده شد. او در سال ۱۸۴۸ بر اثر حوادث سیاسی آن زمان به امریکا رفت ـ کاری که آقای برونل در نیم سده پیش از وی انجام داده بود. او بمحض اینکه به نیویورک رسید به‌عنوان کارگر ساده در کارخانهٔ اسلحه‌سازی رمینگتون استخدام شد؛ اما بسرعت همهٔ مدارج ترقی را پشت‌سر گذارد و در سی و سه سالگی به مدیریت کارخانه نایل آمد.

کروتسبرگر کمی بعد به فرانسه بازگشت و به دولت پیشنهاد ساخت ماشینهای اسلحه‌سازی با تعویض‌پذیری قطعات را داد ـ کاری که در کارخانه اسلحه‌سازی شاتلرو عملی شده بود. وی برای این کار با هزینهٔ دولت چندین دستگاه ویژه را طرح کرد و آنها را ساخت.

کروتسبرگر، در ۱۸۶۵ کارگاه پوتو را تأسیس کرد تا ماشین ـ ابزارهای لازم برای اسلحه و مهمات را در آنجا بسازد و آنها را به صنایع خصوصی تحویل دهد. از جملهٔ این ماشینها می‌توان از انواع

1. E. Jurthe 2. Otto Mietzschke 3. Kreutzberger 4. Guebwiller

فرزها، چه از نوع لینکلن و چه از نوع عمودی نام برد که در سالهای ۱۸۶۱ تا ۱۸۶۷ در ساخت سری قطعات تفنگ با سوزن شاسپو[1] خدمت کردند.

چند سال بعد، در ۱۸۷۴ وی اختراع دستگاهی برای چاق کردن فرزها را به ثبت رسانید؛ این دستگاه کاربرد ماشینهای فرز را چنان دگرگون ساخت که اجازهٔ ساخت آن به همه کشورهای صنعتی فروخته شد، در امریکا امتیاز آن را براون اند شارپ، و در سویس Maschinen-Fabrik d'Oerlikon به‌دست آورد. این امر، ساخت دستگاه فرز چاق‌کنندهٔ کروتسبرگر بوسیلهٔ مؤسسهٔ اخیر را توجیه می‌کند.

اما تأثیر کروتسبرگر تنها به مؤسساتی که وی اداره می‌کرد، محدود نمی‌شد، زیرا نام این مهندس در تاریخچه کارگاههای ارنو[2] هم دیده می‌شود.

تأسیس این کارگاهها به سال ۱۸۶۳ بر می‌گردد، و مدیون مکانیسین بسیار با ارزشی به نام کولمان[3] است که ساخت دستگاههای کوچک تراش موازی دقیق را برعهده گرفت. آقای کروتسبرگر یکی از نخستین این دستگاهها را خرید و متوجه دقت و ظرافتی که آقای کولمان در ساخت آن به‌کار برده بود، شد؛ بنابراین سفارش هزار سری از چهار قطعهٔ ظریف حرکت تفنگ شاسپو را به وی داد.

«این هزار سری با رضایت کامل وزارت جنگ تحویل شدند و کولمان را سازندهٔ کوچک قابلی نامیدند و به وی پیشنهاد کردند تا در مناقصهٔ پانصد هزار سری از قطعات مشابه شرکت کند. یک جایزه هم برای این کار در نظر گرفته شد. اما سفارشی با این اهمیت برای کارگاه کوچک کولمان بسیار سنگین بود و ذخایر اولیه او هم برای اجرای این سفارشها کافی نبودند؛ وی بناچار پیشنهاد را رد کرد.»

نمایشگاه سال ۱۸۶۷ جایزهٔ بسیار بالایی به کولمان اهدا کرد: مدال طلای نمایشگاه. کارگاههای وی زمانی‌که هانری ارنو مدیریت آنها را عهده‌دار شد (۱۸۹۲)، در خیابان آلزیا[4] واقع شده بودند.

هانری ارنو کوششهای خود را متوجه ساخت دستگاههای تراش موازی ریلی و دنده‌ای کرد، و در نمایشگاه عمومی سال ۱۹۰۰ آنها را ارائه داشت و موفق به دریافت جایزهٔ بزرگ شد. ارنو همچنین مدتهای زیادی به ساخت دستگاه چاق کردن فرز، اختراعی کروتسبرگر اشتغال داشت.

در همان سال تولد کروتسبرگر (۱۸۲۲)، آقای اتین بویی[5] نیز تولد یافت. وی که در ۱۸۴۶ کارگری ساده بود، «پس از یک دوره کارآموزی درکروزو، وگردشی در فرانسه، که بسیاری از پیشه‌وران آن زمان برای بالا بردن سطح اطلاعات وکامل شدن درکار حرفهٔ خود، به آن دست می‌زدند»، در

1. Chassepot 2. Ernault 3. Colmant 4. Ale'sia 5. E. Bouhey

سال ۱۸۴۸ در پاریس یک کارگاه محقر مکانیکی تأسیس کرد.

بعدها، کارگاه خود را به خیابان دومنیل[1] منتقل کرد و در همان زمان کارخانهٔ متالورژیکی مونزرون[2] (درکوت ـ دور) را که بیست سال پیش برای برپاداشتن کوره‌های بلند و دستگاههای نورد ایجاد شده بود، خرید.

آقای اتین بویی ساخت ماشین ـ ابزارهای قوی و دارای تناژ زیاد، از هر نوع را بی‌درنگ سر و سامان داد. وی به پشتگرمی مرغوبیت کالاهای خود، در فرانسه نخستین کسی بود که دست به‌کار ساخت سری ماشینها برای پایین آوردن هزینهٔ اولیهٔ آنها شد. دو پسر او به کارخانه‌های بویی، رونق تازه‌ای بخشیدند.

ساخت اسلحه در فرانسه، مانند امریکا و آلمان، سفارشهای زیادی می‌آورد و ماشین‌سازان فرانسوی را به پیش می‌راند.

آقای باریکان[3] با کروتسبرگر، و کولمان، از سال ۱۸۶۷ ساخت قطعات تفنگهای شاسپو را شروع کرد، اما تنها در ۱۸۷۲ بود که این کار را با فرزهای ساخت خود انجام داد، گرچه در این کار از مدلهای براون‌اند شارپ الهام گرفته بود. و بعداً آنها را به اسلحه‌سازیهای شاتلرو، سنت ـ اتین، وتول[4] فروخت. درواقع، آقای باریکان، در سال ۱۸۸۵ بود که برای ساخت تفنگهای لوبل[5]، مدلهای گوناگونی ماشین ـ ابزار، بویژه، دستگاههای فرز و تراشکاری مشهور خود را ساخت.

می‌دانیم که در آلزاس، کارخانهٔ گرافنستادن در سال ۱۸۴۱ ساخت ماشین ـ ابزار را شروع کرد. در ۱۸۵۵ با مدیریت آقای مسمر[6]، برنامهٔ بسیار مفصّلی، شامل «قیمت روز» و نام سازنده، معمولاً انگلیسی؛ که مدل از آن الهام گرفته شده بود، تنظیم شد: دستگاههای تراش، سیستم ویتوورث یا فاکس، یا بالاخره کولییر[7]. دستگاههای چرخ‌تراش، سیستم شارپ ـ رابرتس؛ دستگاههای سوهانکاری و چاک‌زنی، سیستم نازمیث و غیره.

در سال ۱۸۳۴ در مولوز، کارگاههای دوکمون[8] برپا شد، که دقیقاً در ۱۸۶۳ که آقای استنلن[9] سر مهندس آنها از گرافنستادن وارد شد، بخشی را به ماشین ابزار اختصاص داد.

مدلهای تازه به مدت سی سال در کارگاههای دوکمون، در همهٔ رشته‌های مکانیکی ساخته و تکثیر می‌شدند، اما گویا در رشتهٔ ماشین ـ ابزار، از هر رقم و با هر اندازه، سنگینترین دستگاهها، یک «دستگاه تراش اونیورسال غول‌آسا به وزن ۳۴۰ تن» ساخته می‌شد.

آقای کندلو[10]، سرهنگ توپخانهٔ نیروی دریایی در ۱۸۹۹ چنین نوشته است «دستگاههای

1. Daumesnil 2. Montzeron 3. Bariquand 4. Tulle 5. Lebel 6. Messmer
7. Collier 8. Ducommun 9. Steinlein 10. Candelot

تراشی که در ۱۸۶۸ در ریخته‌گری نور تهیه شده است، طی سی سال کار مداوم، هیچ‌گاه نیاز به تعمیرات پیدا نکرد و وسایل جالبی که در فوندری ناسیونال، در روئل برای مته و برقی کردن لوله‌های توپهای نیروی دریایی تحویل داده شده بودند در سال ۱۸۸۳ شبانه‌روز کار می‌کردند، اما نشانی از فرسودگی در آنها دیده نشد».

نوعی مشارکت بسیار زیبا در نمایشگاه عمومی ۱۸۸۹ اگرچه بسیار دیر در (یک کلاه فرنگی مخصوص، که تنها چند هفته پیش از پایان نمایشگاه گشایش یافته بود) برای رفع، مشکلاتی پدید آمد، که چند سال بعد شرکت Ducommun & Cie، با شهرت کاملاً جهانی را نابود کردند.

فصل ماشین ـ ابزار فرانسه در جریان نیمه دوم سدهٔ نوزدهم را نمی‌توان بدون یادآوری کارهای فورنیرون در وسایل آهنگری و سیدرورژی به پایان برد: ساخت نوردها، قیچیها، اره‌های به‌کار رونده در گرما، چکشهای مکانیکی، پرسهای شاهنگی و . . . این تولیدات در سال ۱۸۵۳ در شامبون ـ فوژرول[1]، حدود سنت ـ اتین شروع شدند. در سال ۱۸۶۲ امتیازی برای چکشهای مکانیکی و چکشهای تسمه نقاله‌ای حرکت سبک به ثبت رسید؛ در ۱۸۸۷ ساخت پرسهای آهنگری و چهار سال بعد، بزرگترین پرس آهنگری فرانسه، با ۴۰۰۰ تن وزن به فولادسازی سن شامون[2] تحویل شد.

اصلاحات از ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰

با اینکه در نیمهٔ نخست سدهٔ نوزدهم، درحقیقت، تنها صنعت انگلیسی ماشین ـ ابزار، و صنعت جنینی فرانسه وجود داشتند، نیمهٔ دوم، همان‌طورکه دیدیم، دورهٔ تشکیل و توسعهٔ سریع صنعت امریکا و آلمان بود.

تحول روش‌های تراشکاری و پیشرفتی که در ساخت ابزارها پدید آمد، دستگاههای تازه‌ای را، نخست در رشتهٔ عملیات ساده (فرزکاری، خانکشی، سنگزنی، چاق کردن ابزار و . . .)، سپس در قسمت خودکار کردن دستگاههای معمولی، پیش از اعمال این کار در دستگاههای ساخت (دستگاههای نیمه خودکار تراش، دستگاههای خودکار تراش دارای یک یا چند کارگیر و غیره)، سبب شد.

در فاصلهٔ سالهای ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ ماشین ـ ابزارهای یک کارگاه، برای تأمین توان خود، از یک موتور عمومی به توسط میل کاردان و تسمه نقاله استفاده می‌کردند.

تغییرات رفته رفته پیش آمد. در ممالک متحدهٔ امریکا آقای سلرز رنگ قرمز را که رایج شده بود به خاکستری تبدیل کرد؛ زمانی، گمان می‌بردند که اگر بدنهٔ دستگاه، شکل پیچیده‌ای داشته باشد، بهتر

1. Chambon-Fougerolles 2. Saint-Chamond

است، زیرا می‌خواستند، شیک باشد و نقشهای گوناگونی و انواع تزئینات روی آن دیده شود. همچنین دستگاههای صفحه‌تراشی با تیغچهٔ ثابت، دارای ستونها و پلهایی بودند، درحالی‌که، ستونهای حامل کشوها در این دستگاهها که تیغچه متحرک داشتند (بنابراین داخل‌تراش بودند)، شبیه ستونهای یک معبد قدیمی و نیز ستونهای دستگاههای مته‌کاری شده پایه‌های چراغ بودند.

رفته رفته بدنه‌های دارای رگه‌های بیرونی کنار گذاشته شدند و به‌جای آنها، بدنه‌های پوشیده با ماهیچه‌های طرح ویتوورث رواج گرفت که گرچه ریخته‌گری آنها دشوارتر بود، مقاومت بیشتری داشتند؛ برای ساخت قطعات دستگاهها از آهن یا فولاد نرم، که همگنتر بود و کاهش قطر محورها را همراه با افزایش طول پایه‌ها و یاتاقانها (بالشتکها) ممکن می‌ساخت استفاده شد. سرانجام، برای ساخت آنها به‌جای مفرغ معمولی، مفرغ فسفردار به‌کار برده شد.

ماشین تراشکاری: این ماشین ـ ابزار که دستگاه اساسی هر کارگاه مکانیکی است، توسط ماشین‌سازانی، که شمار آنها روزافزون بود و در همچشمی با یکدیگر برای تکمیل و بویژه بهتر کردن دقت و کارایی آن تلاش می‌کردند، پیشرفت چشمگیری داشت.

تیغچه (رنده) که بدون تغییر مانده و با کشش میله‌ای از فولاد ریخته‌گری (فولاد که وقتی دما به ۳۰۰ درجه برسد، خواص خود را از دست می‌دهد) تولید می‌شد، بدون تغییر سرعت برش به‌کار ادامه می‌داد، اما صنعتگران با بزرگتر کردن تراشه‌ها، درپی کارایی بیشتر آن برآمدند.

مدتهای طولانی علاوه‌بر بویژه دستگاههای کفتراش، مخصوص قطعات بزرگ از قبیل چرخ طیار و فلکه، دستگاههای موازی تراش (وجه تسمیهٔ آن بخاطر حرکت تیغچه، موازی با محور مرغکهای آن است) تقریباً تنها دستگاههای فعال بودند.

طبقات مخروط نگهدار مرغکِ ثابت را عریض کردند تا بتوان تسمه‌های نقالهٔ قویتری را به‌کار گرفت و یک، گاهی دو جعبه دنده برای متعدد کردن سرعتهای کارگیر به دستگاه افزودند. برقو زدن کارگیر به‌طور روزافزونی رواج یافت تا سرانیدن یا حرکت دنده‌ای میله‌هایی که از آن می‌گذشتند آسان شود. این فکر بدیعی نبود، زیرا میلهٔ دستگاه تراشکاری کارتیه (۱۸۴۸) «تنها قطعه‌ای بود که نه‌تنها از بیرون در همه طرف می‌چرخید بلکه در تمام طول برقو کاری شده بود؛ برقو زدن چنین میله‌ای برای اینکه دقیق باشد دردسر داشت اما به‌دلیل احتیاطهای لازم، کارگر زیرکی می‌توانست این کار را در مدتی کمتر از یک هفته انجام دهد و این کار با دستگاهی مجهز به مرغکهای معمولی انجام می‌شد».

مدتها درپی بهترین راه دنده‌ای یا ریلی کردن حرکت مرغک بودند: دندهٔ پیشبر طولی تیغچه

(دندهٔ مادر) در سراسر طول خود، شیاری داشت تا یک چرخدندهٔ واسطه، روی میلهٔ دندانه‌داری که روی میز دستگاه ثابت شده بود، بگردد. با گذاشتن ریل بجای این سیستم، از عملیات دنده‌کاری پیچ مادر صرفه‌جویی شد.

با ترکیب کردن چرخدنده‌هایی که روی اهرم شعاعی مونتاژ می‌شدند، مثلاً در دستگاه تراش سنو (۱۷۹۵) و نیز در دستگاه مادزلی (۱۷۹۹)، و نیز تغییرات حرکت طولی و عرضی تیغچه، با همان طریق یا بوسیلهٔ فلکه‌های چند طبقه‌ای (تا زمان اختراع نورتون)، انواع دنده‌ها تولید می‌شد.

آقای و. پ. نورتون در سال ۱۸۹۲ اختراعی را در مورد جعبه دندهٔ ویژهٔ دستگاههای تراش شرکت امریکایی هندی ـ نورتون[1] به‌ثبت رسانید؛ شرکتی که یک فرانسوی به نام کنستان بوییون[2] از اهالی فرانش کنته در آن زمان عضو آن بود و سپس سر مهندس آن شد.

این اختراعی بسیار مهم بود، زیرا امکان داشتن سرعتهای طولی مختلف و حتی گام دنده‌ها (برحسب اینکه ساده یا جفتی بودند) را، بدون کمک چرخدنده‌های اهرم شعاعی، به وجود آورد.

جعبه دندهٔ نورتون (یا انواعی از آن) رفته رفته در اکثر دستگاههای تراش نصب شد و بعدها اصول این سیستم بر دستگاههای دیگری که می‌توانستند این وسیلهٔ تکمیلی جالب را بپذیرند، رعایت شد.

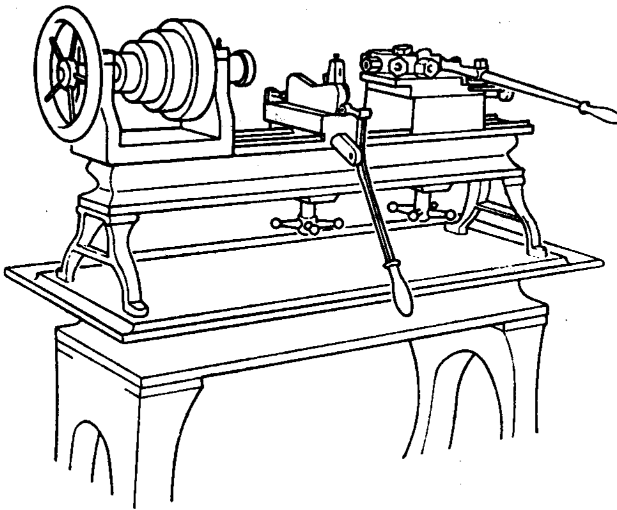
میز دستگاه تراش (با اینکه در سدهٔ هجدهم آقایان ووکانسون و مادزلی ریل منشوری را به‌کار برده بودند، صاف باقی ماند) پیوسته، مثل دیگر قطعات آن، تقویت می‌شد، درحالی‌که کیفیت چدنها و فولادهای آن نیز بهتر شده بود.

سرانجام، به تعداد تیغچه‌ها افزوده شد، گاهی دربرابر یکدیگر روی یک صفحه، و زمانی روی دو صفحه مستقل از یکدیگر نصب می‌شدند.

نخستین برجک دارای چندین تیغچه را در ۱۸۴۵ یک امریکایی به نام س. فیچ، جهت ساخت ۳۰۰۰۰ پیستولهٔ سفارشی طرح کرد. آقای کلت مدتها تا (۱۸۵۹) آن را نپذیرفت، اما این برجک هنوز تنها در دستگاههای ساده تراش سوار می‌شد. می‌دانیم که آقای ف. و. هاو بود که نخستین دستگاه تراش با برجک رولور را حدود ۱۸۴۹ طرح کرد و به‌دنبال آن، بویژه با آغاز کارِ هارتنس در شرکت Jones & Lamson (شکل ۸). کاربرد این نوع دستگاه تراش بسرعت، بویژه در امریکا، جهت ساخت قطعات در سریهای کم یا متوسط رواج گرفت.

در فرانسه، دستگاههای با برجک رولور، حدود ۱۸۷۵ ساخته شدند و انواع زیادی از آنها در پاریس، نمایشگاه عمومی ۱۸۷۸، ارائه شدند که ازآن میان، دستگاههای پیه، باریکان و پسر، اورتو[3]

1. Hendey-Norton 2. Constant Bouillon 3. Hurtu



شکل ۸. یکی از نخستین دستگاههای تراش جونز و لمسن (Jones-Lamson) (حدود ۱۸۵۰).

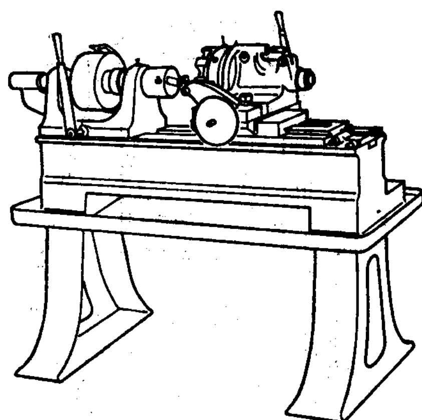
(هر سه در پاریس) بسیار جالب بودند (شکل ۹).

دستگاههای باریکان و اورتو، کارگیرهای فولادی آب‌داده و سپس اصلاح شده داشتند. برقوکاری کارگیر دستگاه باریکان، گذر میله‌های درازی را که برای گرفتن پیچ، مهره، قرقره و غیره باز می‌شدند ممکن می‌ساخت و گیره‌ای با دو فک، حرکت آن را تأمین می‌کرد. برجک با محور افقی می‌توانست نه تیغچه داشته باشد؛ حرکت عرضی هر تیغچه را دو زبانهٔ واگردان تأمین می‌کردند، یکی در جهت طولی، دیگری در عرض.

کاهش هزینهٔ تولید با کاربرد دستگاههای رولور را می‌توان چنین مثال زد: تراشکاری یک چرخ با دستگاه معمولی به‌توسط کارگری که در هر ساعت ۱٫۲۵ فرانک می‌گیرد ۸٫۷۵ فرانک می‌شود، اما با دستگاه شش تیغچه‌ای، هزینهٔ ساخت آن، یک فرانک است.

ما این را هم می‌دانیم که برای سری‌سازی قطعات مهمتر، ماشین‌سازان امریکایی دستگاه تراش خودکار را ساختند که در آغاز دارای یک و سپس چند کارگیر بود. با این همه، باید توجه داد که دستگاه دارای یک کارگیر و با مرغک نگهدار متحرک، در کشور سویس، در شهر بیین[1] (در اطراف برن)، در ۱۸۷۲ به‌توسط ی. شوایتزر ساخته شد.

1. Bienne



شکل ۹.دستگاه تراش رولوری بریکان (Bariquand) و پسر (۱۸۷۹)

این دستگاه که در آغاز برای ساخت پولکی فنرهای ساعت تهیه شده بود در سال ۱۸۷۳ با افزوده شدن ابزاری به آن در ساخت خودکار پیچهای ساعتهای دیواری به‌کار گرفته شد.

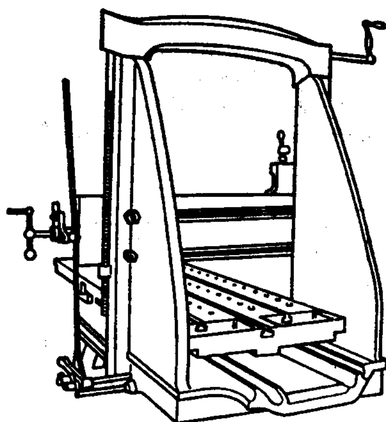
از میان دستگاههای تراش ویژه باید پیشرفتهایی را که در ساخت دستگاههای مخصوص کارگاههای وسایل گردنده راه‌آهن، همگام با گسترش این رشته به‌عمل آمده است، به یاد آورد.

ما خاطرنشان ساخته‌ایم که در نمایشگاه عمومی پاریس ۱۸۵۵، یک دستگاه تراش واگنها از کارخانه پولونسو، مکانیسین دیده می‌شد. این دستگاه را جهت کارهای راه‌آهن اورلئان ساخته بود و هم‌زمان هر دو چرخ یک محور سوار شده را با دو گروه رنده‌گیر متقابل تراش می‌داد. با هر روز کار ده ساعتی، هفت جفت چرخ تراشیده می‌شد.

دستگاه صفحه تراش: مبارزهٔ صفحه‌تراشهای به‌اصطلاح انگلیسی، دارای تیغچهٔ ثابت و میز متحرک، با صفحه تراشهای به‌اصطلاح فرانسوی، تیغچه متحرک و میز دو تکه، به سود صفحه تراشهای نوع اول به پایان رسید.

برای فرمان دادن به میز، سه مکانیسم وجود داشت، که هرکدام محاسن و معایبی داشتند: فرمان با چرخدنده و میله دندانه‌دار، مکانیسمی که رایج بود؛ فرمان با پیچ و مهره، مانند مکانیسمی که روی دستگاه شرکت Fives-Lille بود، با میله دارای دندانه‌های مورب و بخشی از پیچ، مانند مکانیسمی که روی صفحه تراشهای سلرز دیده می‌شد (شکل ۱۰).

مکانیسم نخست رفته رفته نزد ماشین‌سازان محبوبیت یافت زیرا اینان بیش‌ازپیش به‌دنبال



شکل ۱۰.دستگاه صفحه تراش امریکایی با میز متحرک (حدود ۱۸۵۰).

افزایش بازده دستگاههای خود بودند، که نه‌تنها در هر دو جهت صفحه را می‌رندید (تنظیم تیغچه‌ها یقیناً دشوار بود)، بلکه مهم، برگشت سریع میز بود.

دستگاه چاک‌زننده: مدلهای زیادی از همان سال ۱۸۷۸ مجهز به وسایلی برای برگشت سریع تیغچه شدند و آقای پیه، یکی از آنها را که رنده‌گیر آن از صفر تا ۹۰ درجه خم می‌شد، ساخت.

دستگاه فرز: هر قدر که تیغچهٔ دستگاه تراش، به‌طورکلی ساده و کار با آن آسان بود، تیغچه دستگاه فرز همان‌قدر غیر دقیق و ظریف و بنابراین گران بود. در حدود سال ۱۸۵۰، به همین دلیل، این دستگاه بندرت به‌کار گرفته می‌شد.

این دستگاه در سال ۱۸۱۸ به همت آقای ا. ویتنی در امریکا ساخته و تکمیل شد. مدلهای ساخته شده، بویژه در انگلستان به‌توسط ویتوورث و در فرانسه بوسیلهٔ دکوستر، در حدی نبودند که بتوان آنها را با فرزهای جالب ساخت ۱۸۵۰ امریکا، بویژه فرز ساخت شرکت براون اند شارپ مقایسه کرد. به‌یاد آوریم که در ۱۸۶۲ فرز اونیورسال این شرکت، در نمایشگاه عمومی سال ۱۸۶۷ پاریس ارائه شد. گذر از تراش قطعات کوچک (مثلاً قطعات اسلحه) به قطعات بزرگ ماشین‌آلات، با دشواری‌های بزرگی روبه‌رو می‌شد.

فرزهایی که تا آن زمان به‌کار می‌رفتند، درواقع، کوچک بودند و تغییر شکلی که به‌دنبال آب‌دادن در آنها پدید می‌آمد، زیاد مهم نبود. اما ابعاد به‌حد معینی که رسید «فرزها را آبگیری می‌کردند تا بتوان با سوهانکاری آنها را تصحیح کرد و سپس باز آنها را آب داد. با این ترتیب، از نو، همه خطرات

این کار: تغییر شکل، ترکهای تنشی، خراب شدن ساختار فلز و ... تجدید می‌شد. برای محو تغییر شکلهای ناشی از خطهای پدید آمده در اثر کند شدن تیغچه، از لیسه استفاده می‌کردند».

بخوبی فهمیده می‌شود که شرایط پیشرفت کاربرد فرز، هرگز فراهم نشده بود. این وضع تا زمانی‌که سنگ سنباده، ابزار ویژهٔ چاق کردن فرز به‌کار گرفته نشده بود، ادامه داشت. درگذشته نقش اساسی آقای کروتسبرگر در ۱۸۷۴ در این باره سخن گفته‌ایم.

خود فرز، بعدها با مجهز شدن به دندانه‌های مارپیچ «برای تأمین ادامه کار بهتر شدند، زیرا ادامهٔ هدایت دندانه‌های چرخدنده به‌دست آمده بود».

از نظر آقای ل. فور[1]، اندیشه برش مارپیچ، از آن وترلی[2]، یک مهندس سویسی است که در زمانی مدیر تولید London Bridge Armoryبود. وی وقتی به شهر خود نئوهاوزن[3] بازگشت برای اینکه یک کارخانهٔ اسلحه‌سازی را اداره کند، این نوع دندانه را به‌کار گرفت؛ از آن پس، اسلحه‌سازی پوتو، در فرانسه بسرعت از آن استفاده کرد، وکارگاههای راه‌آهن شرکت PLM (فرانسه) که درگذشته از دستگاه خانکشی عمودی استفاده می‌کردند، آن را روی بدنه‌های بزرگی، که در اصل، شبیه دستگاههای چاکزنی بود، به‌کار گرفتند.

می‌توان با بررسی فرز شگفت‌انگیز اورتو و اوتن[4]، در موزهٔ ملی تکنیک‌ها در پاریس، فرزی که حدود سال ۱۸۷۲ در اسلحه‌سازی پوتو، برای ساخت تیغ مته‌های مارپیچ به‌کار می‌رفت، آن را از جنبه‌های طراحی و ساخت، عالی توصیف کرد.

اصالت این دستگاه در این بود که برای پرهیز از خمشی که یک فرز تنها روی قطعهٔ کوچک ایجاد می‌کند، در این دستگاه دو فرز، یکی در زیر دیگری، هم‌زمان فعال می‌شدند و بدین‌ترتیب دو چاک ایجاد می‌شد، درحالی‌که فشار تیغچه‌ها متقابل و خنثی‌کنندهٔ یکدیگر بودند.

دستگاههای فرز افقی، دستگاههای فرز اونیورسال (= با کارگیر افقی و میز نوساندار، یا کارگیر جهت‌پذیر و میز ثابت)، دستگاههای فرز عمودی وسایلی بودند که انواع زیادی مدلهای دارای یک یا چند کارگیر با میز متحرک یا ثابت در بالا، با همه‌گونه وسایل لازم، با یا بدون وسایل کپی را به‌وجود آوردند.

فرزکاری بوسیله کپی کردن از مدتها پیش وجود داشته است و بر فرز فرم تراش ترجیح داده می‌شد.

درکارگاههای ساخت لوکوموتیو، فرزکاریهای آزمایشی اولیه، در سال ۱۸۷۹ به‌توسط دگرانشان[5]

---

1. L. Fort 2. Vetterli 3. Neuhausen 4. Hautin 5. Desgrandchamps

(شرکت PLM) با شابلون انجام می‌گرفت و در کاتالوگ کارخانه‌های بویی چندین مدل با تاریخ ۱۸۸۹ دیده می‌شود.

این مطلب را هم باید گفت که در ۱۸۷۸، آزمایشی با دستگاهی که آقای دونه[1] سازندهٔ آن در پاریس، آن را «دستگاه شکل‌دهی» می‌نامید، انجام گرفته است. در آن زمان نوشته‌اند که، این دستگاه «تقلیدی از دستگاه فرز» یا به سخن درستتر، معکوس دستگاه فرز معمولی است. بنابراین گرچه در دستگاه اخیر، قطعه مورد عمل به‌توسط یک نظام دربرابر فرز ثابت حرکت می‌کند، در دستگاه شکل‌دهی، فرز متحرک بوده و پیاپی بخش‌های گوناگون قطعه مورد عمل را می‌تراشد. هرگاه به قسمتهای دایره‌ای می‌رسید، نوعی حرکت دوگانه، هم به فرز و هم به قطعه اعمال می‌شد».

این مدل موفقیت مورد انتظار سازندهٔ آن را به‌دست نیاورد.

ماشین مته: آقای استفن ا. مورس در سال ۱۸۶۱ مخترع تیغ متهٔ حلزونی شد و در کارگاه کوچکی در ایست بریجواتر[2] (ماسوچوست) به ساخت آن دست زد.

به یاد می‌آوریم که براون اند شارپ، دستگاه فرز اونیورسال خود را در سال ۱۸۶۲ در اصل، دقیقاً برای چاکهای تیغ مته‌های حلزونی ساخت. آقای سمیوئل ا. مورس دو سال پس از آن در نیو بدفورد[3] ماساچوست، شرکت: **Morse Twist Drill & Machine Co** را به‌وجود آورد.

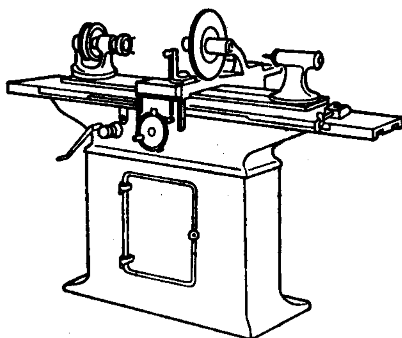
کاربرد این تیغچه و همراه با آن استفاده از سرعتهای مته‌کاری آهسته گسترش یافت. با این حال، طرح دستگاه معمولی مته‌کاری، تغییرات زیادی متحمل نشده است و کوششهای سازندگان، روی متهٔ شعاعی (= بازویی)، که خدمات آن همراه با سوراخ‌کاری، قلاویز و برقو زدن سوراخهای قطعات هرچه بزرگتر و هر اندازه سنگینتر بود، تمرکز یافت.

همان‌طورکه در مورد دستگاههای دیگر عمل شده است، با پیگیری برای هرچه سخت‌ترکردن قطعات آن (این خاصیت به تناسب فاصلهٔ تیغ مته با بدنه، بیشتر لازم می‌شد) و توانایی تغییر هرچه بیشتر سرعت گردش سه نظام و نفوذ در فلز می‌کوشیدند. در مته‌های شعاعی (بازویی)، شکل بدنه یا ستونها و نیز بازوها، مورد بررسیهای خاص بوده است.

مدلهای ویژه‌ای برای ساختن وسایل مربوط به خط آهن: دیگ بخار، پلها و اسکلت‌بندی فلزی و غیره ایجاد شدند.

دستگاه سنگزنی: چنین وسیله‌ای که در ماشین‌سازی امریکا برای ایجاد دقت بسیار زیاد مورد نیاز تعویض قطعات با یکدیگر،لزوم اکید داشت، یکی از اختراعات نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم است

1. Donnay 2. East Bridgewater 3. New Bedford



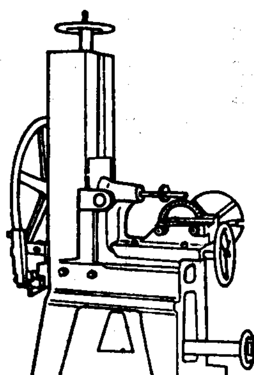
شکل ۱۱.دستگاه سنگزنی اونیورسال براون اند شارپ (۱۸۷۶).

(شکل ۱۱).

همان‌طورکه کاربرد دستگاه فرزکاری، به‌علت دشواری ساخت و هزینهٔ گزاف آن تا مدتها رواج نیافت، همین گرفتاری برای دستگاه سنگزنی نیز وجود داشت. تولید انواع گوناگون سنباده‌های مصنوعی با دشواری‌های فراوان روبه‌رو شد و کاربرد آن چنان خطرناک تشخیص داده شد که در نمایشگاه پاریس ۱۸۷۸ نشان دادن کار آن ممنوع اعلام گردید.

اما پس‌از گذشت کمتر از ده سال، با بررسیهای مقایسه‌ای انواعی که در سال ۱۸۸۷ ساخته شده بودند، توسط یک صنعتگر امریکایی، که نتایج آن در زیر آورده شده‌اند، کاربرد سنگ سنباده (و در نتیجه، دستگاه سنگزنی) بسرعت افزوده شد.

وسیلهٔ کار	مس	چدن قیچی	آهن ورزیده	فولاد ریخته‌گری
	وزن فلز برداشته شده با وسایل گوناگون، در سی دقیقه کار، به kg			
سنگ سنباده	۷٫۷۱۸	۳٫۵۱۸	۱٫۱۳۴	۱٫۵۶۰
سوهان	۰٫۲۲۶	۰٫۱۶۳	۰٫۰۷۸	۰٫۰۲۸
چکش و قلم در حالت سرد	۰٫۵۸۱	۱٫۰۶۴	۰٫۲۹۸	۰٫۰۴۲
		هزینهٔ هر کیلوگرم برداشته شده (به فرانک)		
سنگ سنباده	۰٫۲۰	۰٫۶۴	۲٫۳۳	۳٫۰۸
سوهان	۲٫۸۴	۳٫۹۵	۸٫۲۵	۲۲٫۷۰
چکش و قلم در حالت سرد	۱٫۱۱	۰٫۶۰	۲٫۱۵	۱۵٫۱۴



شکل ۱۲.دستگاه تراش چرخدنده با فرز آقای گولد (حدود ۱۸۵۷).

نخستین دستگاه سنگزنی که استوانهٔ ساده‌ای بود، حدود ۱۸۶۱ بوسیلهٔ آقای آمبروز وبستر طرح شد، سپس در ۱۸۶۸ شرکت براون اند شارپ مدل اونیورسال آن را ساخت، و در پایان این سده، آقای س. هـ. نورتون نخستین دستگاه سنگزنی صفحات را طرحریزی کرد که براون اند شارپ هم در کار ساختن آن بود.

باید توجه داشت که در سال ۱۸۸۷ مؤسسه Luke & Spencer در منچستر دستگاه ویژه‌ای برای «پرداخت دندانه‌های چرخدنده» ساخت که سنگ سنباده‌های آن به قطر ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت ۵ تا ۱۰ میلیمتر بود و در هر دقیقه ۱۷۰۰ دور می‌گردید. قطر چرخ‌دندانه‌های مورد عمل می‌توانست از ۷۰ تا ۶۱۰ میلیمتر و عرض دندانه‌ها تا ۱۰۰ میلیمتر باشد (دستگاه سنگزنی بدون مرغک، تنها در ۱۹۲۰، آن‌هم در امریکا ساخته شد).

دستگاه تراش چرخدنده: مدلهای گوناگونی از دستگاههای تراش چرخدنده، که با یک تیغچهٔ راست یا یک فرز فرم تراش کار می‌کردند در اواسط سدهٔ نوزدهم ساخته شد (شکل ۱۲).

در ممالک متحدهٔ امریکا، مؤسسه براون اند شارپ، در سال ۱۸۵۵ به ساخت دستگاهی مایل شد که آقای بیل[1] طرح آن را داده بود و با دستگاهی که در آغاز کارشان برای تراشیدن دندانه و چرخدنده مورد نیاز کارگاه ساعت‌سازی خود مورد استفاده قرار می‌دادند تفاوت و ظرفیت بسیار زیادتری داشت. در سال ۱۸۶۴ آقای ج. ر. براون فرز خزینه‌کار، با دندانه‌های ردیفی پخ زننده را ساخت.

1. **Beale**

تا مدتها تنها از روش بالا استفاده می‌شد و برشکاری با فرز حلزونی یا مارپیچی و بوسیلهٔ تیغ مدور حدود بیست سال بعد به‌کار افتاد.

اصول برش با فرز حلزونی یا مارپیچی، مدیون آقای کریستین شیل[1] انگلیسی است که در ۱۸۵۶ بدین‌ترتیب دندانه‌های عمودی را ساخت (می‌گویند امتیاز وی هرگز جامهٔ عمل نپوشید)؛ اما این موفقیت او کامل نبود، زیرا حرکت قطعه و فرز هماهنگ نبودند. به‌عقیدهٔ آقایان یورته و میتسش، مخترع هماهنگ‌سازی این دو حرکت، آقای هرمان از اکس لاشاپل بوده است.

مسلم، این است که آقای ج. ب. گرانت[2] امریکایی در ۱۸۸۷ تقاضا کرد که امتیاز اختراع فرز حلزونی، که دندانه‌های عمودی و حلزونی به چرخدنده می‌دهد به نام وی ثبت شود. این امتیاز در سال ۱۸۸۹ تصویب و در همان سال این دستگاه ساخته شد.

از این دستگاه تنها می‌توانستند برای تکمیل چرخدنده‌های حلزونی، که خشن‌کاری آنها با فرز معمولی شده بود، استفاده کنند، تا اینکه آقای هـ. پفوتر[3] آلمانی با افزودن یک دیفرانسیال به آن، در سال ۱۸۹۷، آن را تکمیل کرد.

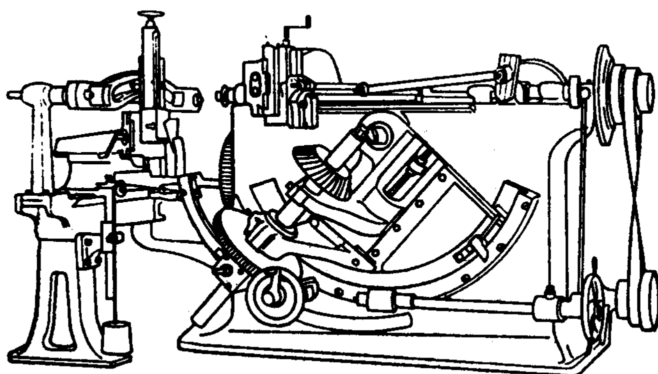
یک سال پیش از این تاریخ، آقای ا. ر. فلوز در ممالک متحده امریکا دستگاه فرز خود را با تیغهٔ دیسکی ساخته بود، درحالی‌که آقای ویلیام گلیسن سازنده دستگاههای موازی تراش، صفحه تراش و ماشینهای بخاری، یک فرز مخروطی تراش طرح کرده بود که طبق یک شابلون، بوسیلهٔ یک تیغچه سادهٔ پیشانی تراش، نیمرخ دندانه را کپی می‌کرد. افزایش چشمگیر مصرف دوچرخه‌های دارای کوپل مخروطی ـ غیر زنجیری ـ پیش از پایان سدهٔ نوزدهم، از علل اصلی پیشرفت دستگاههای مخروط تراش بوده است. در سال ۱۸۹۲ مؤسسه بویی برای تراش چرخدنده‌های مخروطی با دندانه‌های عمودی و حلزونی، دستگاه جالبی ساخت (شکل ۱۳).

آقای جیمز وایت بود که در ۱۷۸۸ مارپیچ مخروطی نهایی را اختراع کرد. از نظر The Gleason Works نخستین اختراعات به‌ثبت رسیده برای تراش این‌گونه دندانه‌ها، در سال ۱۸۵۵، در فرانسه و امریکا بوده است و در سال ۱۸۹۹ بود که آقای مونزه فرانسوی امتیاز اختراع دستگاه غیر کپی کننده‌ای به‌دست آورد که در نمایشگاه عمومی سال ۱۹۰۰ پاریس در غرفه آقای کولمان عرضه شد.

بعضی از مکانیسمهای دستگاه مونزه را شمار زیادی از ماشین‌سازان، از جمله گلیسن و بعداً کارگاه ساخت ماشین ـ ابزار Oerlikon Buehrle & Cie (سویس)، در سیستم ماشین ـ ابزارسازی براندنبرگر[4] اقتباس کردند.

---

1. **Christian Schiele** 2. G. B. Grant 3. H. Pfauter 4. Brandenberger



شکل ۱۳.دستگاه تراش چرخدندهٔ مخروطی با دندانه‌های عمودی و حلزونی، ساخت بویی (۱۸۹۲).

اندیشهٔ تراش به‌کمک چرخ و میلهٔ دنده‌دار در سدهٔ بیستم توسط آقای سام ساندرلند انگلیسی ـ پیش از ماکس ماک[1] سویسی ابراز شد.

دستگاههای شکل‌دهی به فلز: طی این مدتی که بررسی شد، این دستگاهها کمتر از دستگاههایی که فلز را برمی‌داشتند متحول شدند. آنها گام‌به‌گام همراه با نیازهای صنعت و اصولاً صنایع کشتی‌سازی، بویژه سنگینتر و قویتر شدند. نخستین کشتی جنگی زره‌دار، همان‌طورکه گفته‌ایم، کشتی فرانسوی *Gloire* بود که در ۱۸۵۹ به آب انداخته شد و مستلزم کاربرد دستگاههای جدیدی برای شکل‌دهی ورقهای زره و چکش‌کاری قطعات بیش‌ازپیش سنگین بود.

از چکش هاونی بوردون[2] که با بخار عمل می‌کرد (۱۸۴۰) و سر آن ۲٫۵ تن وزن داشت که از دو متری سقوط می‌کرد، تنها پس از بیست سال به آنجا رسیدند که سر چکش، چندین ده تن سنگین شد. مشهورترین این چکشها، عبارت بودند از: در فرانسه، چکش هاونی ۸۰ تنی (که بعداً وزن آن به ۱۰۰ تن رسید) کارخانهٔ کروزو (۱۸۷۸) برای پتک‌کاری قطعاتی که می‌توانستند تا ۱۲۰ تن وزن و ستبرا یا قطری تا دو متر داشته باشند؛ چکش ۱۲۵ تنی با ارتفاع سقوط ۵ متر در سال ۱۸۹۳ در فولادسازی بتلیهم[3] امریکا به‌کار افتاد و چکش ۶۰ تنی آلفردکروپ حدود سال ۱۸۵۹ـ۱۸۶۱ ساخته شد و پنجاه سال در اسن کار می‌کرد.

چکشهای هاونی بخاری که غالباً ناکافی احساس می‌شدند جای خود را از سال ۱۸۶۰ به پرسهای هیدرولیک دادند، در این سال جان هازول، رئیس **Wiener Maschinenfabrik** برای آهنکوبی از پرس ۷۵۰ تنی استفاده می‌کرد.

1. Max Maag 2. Bourdon 3. Bethlehem

آقای ویتوورث نیز، از سازندگان پرسهای هیدرولیک بود که قدرت آنها از ۲ تا ۱۴ هزار تن بالغ می‌شد. وی از این پرسها برای به اندام درآوردن (خشن‌کاری) ورقهای زره، لوله‌های توپ، محورهای ستبری که به چکش هاونی متصل می‌شدند، استفاده می‌کرد.

کاربرد پیچ و مهره‌ها و پرچها زیاد می‌شد و در اندیشه دستگاههای ویژه‌ای برای ساخت آنها شدند.

دستگاههای پرچکاری بسیار معروف، در انگلستان هیلی، و در فرانسه دورن سه عمل مشخص انجام می‌دادند. برش، گرم کردن، شکل دادن سر. مرحلهٔ نخست و پایانی، به شیوهٔ مکانیکی انجام می‌گرفت.

دستگاه هیلی، میله‌ای را که از پیش گرم شده بود، تکه‌تکه می‌کرد و به آنها شکل می‌داد. بدین طریق بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم پرچ در هر ۱۲ ساعت کار روزانه تولید می‌شد، که نه یا ده بار از دست بیشتر بود. از این تکه‌ها علاوه‌بر پرچ، برای ساختن پیچ و مهره و پیچ استفاده می‌شد و بدین‌ترتیب سود آن فراوان بود. این دستگاه متأسفانه در فرانسه ساخته نشد و می‌گویند که مخترع آن تقاضای ۵۰۰۰ پوند حق اختراع را داشت.

برای اینکه این پرچها محکمتر و ارزانتر کار گذاشته شوند در دستگاههای قبلی پرچکاری، اصلاحاتی اعمال کردند. مدلهای گوناگونی ارائه شد که از آن میان مدل شرکت آلن و رودر[1] (ثبت اختراع آن ۱۵ دسامبر ۱۸۷۶) با هوای فشرده عمل می‌کرد، اما مدل راون (حدود ۱۸۸۸) برقی بود.

می‌دانیم که نخستین دستگاه پرچکاری با بخار را آقای کاوه در ۱۸۴۴ برای لومتر شوهر خواهر خود ساخت که ریاست کارخانهٔ دیگ بخارسازی خود در لاشاپل،' اطراف پاریس، را به او واگذارده بود.

حدود سال ۱۸۵۰ این نوع دستگاه پرچکاری، در انگلستان رواج فراوان داشت و معمولاً مارک Cook بر آن بود و بیست سال پس از آن، در ۱۸۷۱ بود که آقای تویدل[2] برای نخستین بار، فرمان هیدرولیکی بر آن گذارد، بدین‌ترتیب که دو تلمبه آب را بالا می‌آوردند و با فشار ۱۰۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع دستگاه را فعال می‌ساختند.

دربارهٔ ساخت مکانیکی مهره‌های چهارگوش، شش‌گوش و غیره باید گفت که دستگاه ساخت آن در سال ۱۸۷۸ بوسیلهٔ زاین[3] تکمیل شد؛ وی در سال ۱۸۷۲ چندین مدل از آن را ساخت که با آنها می‌شد در هر دقیقه ۲۵ مهره تولید کرد و ۹۰ کیلوگرم مهره از ۱۰۰ کیلوگرم مادهٔ خام به‌دست

1. Allen et Roeder 2. Tweddell 3. Sayn

آورد، در حالی‌که معمول آن ۴۰ کیلوگرم مهره بود.

برای بریدن قطعات کوچک، بازوی نوساندار دستی قدیمی با یک فرمان مکانیکی مجهز شد. آقای ژ. شره در ۱۸۶۷ بازوهای نوساندار مشابهی برای ضرابخانهٔ پاریس ساخت و در همان اوان نوعی سنبه‌های ماتریسکاری تحویل داد که به انتهای یک رکاب وصل می‌شدند.

چند دستگاه ویژه، مثلاً برای مفتول‌سازی ساخته شدند از قبیل دستگاههای آقای دوبو[1] (حدود ۱۸۹۵) برای میخ‌سازی. باید گفت که افزایش کالاهای مصرفی در ساخت دستگاههای برش و سنبه ماتریسکاری طرح شده در ۱۸۲۹ مؤثر بودند.

در اواسط سدهٔ نوزدهم، دو امریکایی در ساخت پرسهای مکانیکی تأثیر زیادی داشته‌اند. نخست آقای ن. س. استایلز[2]، و چند سال بعد، آقای ا. و. بلیس[3] که در نیویورک، در محلهٔ بروکلین اقامت داشت. این کارگاه که بتدریج برنامهٔ ساخت و وسایل تولیدی خود را گسترش می‌داد، بعدها کارخانه‌های دیگری در میشیگان و اوهایو به آن افزوده شد.

تعویض سادهٔ شمعها و چراغهای روغنسوز با چراغهای نفتسوز آرگان، درگرو ساخت پرسهای مکانیکی زیاد برای ساخت گلویی و دودکشهای این چراغها بود. پیشرفت صنایع نفت، تولید روزافزون بشکه‌های فلزی را به‌دنبال آورد و نخستین دستگاه خودکار ساخت این ظرفها را در ۱۸۷۸ آقای ف. م. لیویت اختراع کرد.

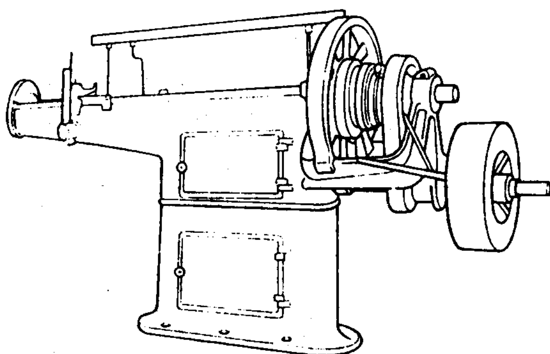
استفاده از پرسهای مکانیکی در صنایع نوین (چرخهای خیاطی، دوچرخه، ماشین تحریر و غیره)، و نیز دستگاههای شکل‌دهی به فلز و ساخت اسلحه، بویژه مهمات فزونی گرفت. بدین‌ترتیب، تولید پوکهٔ فشنگ و ساخت ساچمه‌ها از یک مفتول سربی دستخوش تحولات زیاد و خودکاری روزافزونی بود که دستگاههای دیگر شکل‌دهی فلز نیز از آن بهره گرفتند.

با پایان گرفتن سدهٔ نوزدهم، پیشرفتهای بزرگی در فلزکاری، و همراه با آن در کار ساخت و کاربرد ماشین ـ ابزارها پدید آمد.

گوناگونی این دستگاهها فزونی یافتند زیرا ساخت قطعات یکسان و تعویض‌پذیر، پیوسته بیشتر می‌شد. نیاز به طرح دستگاههایی احساس شد، که دیگر حالت عمومی نداشته باشند، بلکه تنها برای موارد معینی، با سازگاری بسیار به‌کار گرفته شوند.

از این روی ساخت همه نوع دستگاه تراشکاری: ساده، نیمه خودکار و خودکار دارای یک یا چند کارگیر، دستگاههای عمودی تراش و دستگاههای ویژه، مثلاً دستگاههایی ویژهٔ تراش چرخهای واگنها یا لوکوموتیوها و نیز دستگاههای پخ‌کنندهٔ سر فرزها رواج گرفت.

1. Dubos 2. N. C. Stiles 3. E. W. Bliss



شکل ۱۴.دستگاه خان‌کشی لاپوانت (Lapointe) ۱۹۰۲.

ساخت این دستگاهها گواه پیشرفت کاربرد دستگاههای فرز است و یکی از واقعیات بسیار جالب تاریخ ماشین ـ ابزار، طی نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم می‌باشد.

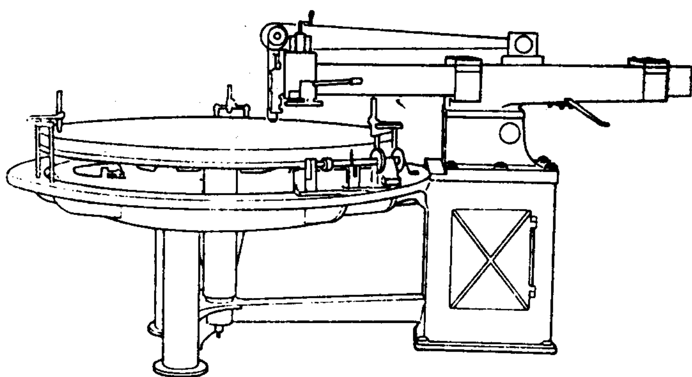
پیدایش و پیشرفت سریع کارهای تکمیل قطعات به‌کمک سنگهای صنعتی (نوعی «فرز با دندانه‌های فوق‌العاده ریز»)، ابزار ماشین‌نوینی که برای تصحیح نواقص کار ابزار معمولی: دستگاه سنگزنی، نیز بسیار جالب است.

همچنین پدید آمدن دستگاههای خان‌کشی را باید به یاد آورد، دستگاهی که اختراع آن در ۱۸۷۳ در ممالک متحدهٔ امریکا به نام ا. ب. استیونس، سپس، حدود ۱۸۸۲ به نام کوزگریو[1] برای خان‌کشی سطح بیرونی به‌ثبت رسیده است. با این همه، تنها در سال ۱۹۰۲ بود که آقای ژوزف ـ ناپلئون لاپوانت، که می‌توان وی را مخترع دستگاههای خانکشی در صنعت دانست؛ نخستین دستگاه خان‌کشی پیچی را، برای جانشینی دستگاهی که از چرخ و دنده فرمان می‌گرفت و کار آن زیاد منظم نبود، طرح کرد (شکل ۱۴).

در پایان باید سخنی هم از پیشرفتهای منظم دستگاه تقسیم، از هنگام پیدایش آن در پایان سدهٔ هجدهم، گفته شود (رجوع کنید به جلد سوم، صفحه۳۲۳). جالب این است که، به هر تقدیر، ساختارهای کلی این دستگاهها، خصوصیات ثابت خود را که اقتباس از دستگاههای ساخت رمزدن بود، حفظ کرده بودند (شکل ۱۵).

دستگاهها و ابزارهای جدید و روش‌های تازهٔ تراشکاری، در سرعت تراش، تقریباً بدون تغییر مانده بودند، زیرا مادهٔ سازندهٔ ابزار تراش هرگز تغییری نیافته بود: این ماده همان فولاد بوته‌ای

1. Cosgrave



شکل ۱۵.دستگاه تقسیم به قطر دو متر، ساخت شرکت تولید ابزارهای فیزیکی در ژنو (۱۹۰۰).

بود، که فولاد ریخته‌گری نام دارد. طی پنجاه سال، با وجود روغنکاری بسیار خوب ـ حدود سال ۱۸۸۳ ـ ثابت شد که روغنی شدن تراشه‌ها، ۳۰ تا ۴۰٪ قدرت تراش تیغچه را افزایش می‌دهد، سرعت تراش تیغچه، تنها مقدارکمی زیاد شده بود.

با آغاز سدهٔ بیستم، در این مورد اختراع فوق‌العاده‌ای شد که ما از آن یاد کرده‌ایم، و آن تولید فولاد خوش‌تراش است که تحقیقات جاری را دگرگون ساخت.

پیش از آنکه بخش جدیدی را شروع کنیم، با جدول زیر آشنا شویم، زیرا، تنها در چند سطر، نشان می‌دهد که هزینهٔ تولید یک ماشین ـ ابزار با وزن متوسط چگونه تعیین می‌شد.

سدهٔ بیستم

تیغچه از فولاد خوش‌تراش: سال ۱۹۰۰، چه سال پرشکوهی برای ماشین ـ ابزار بود!

در نمایشگاه عمومی پاریس «دستگاههای امریکایی بسیار جالب از لحاظ نوآوری در محل متروکهٔ ونسن[1] جای داده شده بودند».

در چنین «متروکه‌ای» در غرفهٔ شرکت Bethlehm Steel یک دستگاه موازی تراش قوی، فولاد نرمی را می‌تراشید و تراشه‌هایی به عرض ۴٫۸ میلیمتر برمی‌داشت؛ پیشرفت طولی تیغچه۱٫۸ میلیمتر و سرعت گردش آن ۳۶ متر در دقیقه بود، یعنی حدود شش برابر سرعت معمول آن زمان با دستگاهی به همان ابعاد.

1. Vincennes

صورت تفصیلی هزینهٔ تولید ماشین ـ ابزارها، در فرانسه

	ماشین ـ ابزار کوچک با کیفیت خوب			ماشین ـ ابزار با کیفیت معمولی		
	وزن	بهای ۱۰۰ کیلوگرم	بهای کل	وزن	بهای ۱۰۰ کیلوگرم	بهای کل
چدن	۱۲۵۰	۳۳	۴۱۲	۳۵۵۰	۳۰	۱۰۶۵
آهن	۲۵۰	۳۰	۷۵	۲۰۰	۳۰	۶۰
مفرغ	۵۲	۲۲۰	۱۱۵	۶۰	۲۲۰	۱۳۲
مواد دیگر	۵		۴۰			
	۱۵۵۷	۴۱٫۴۰	۶۴۲	۳۸۱۰	۳۳	۱۲۵۷
	۱۳۰۰			۳۵۰۰		
وزن خالص دستگاه اتلاف، در دستگاههای کوچک						
۱۷٪ دستگاههای دیگر ۸٪	۲۵۷			۳۱۰		
هزینهٔ تولیدی برای ۱۰۰ کیلوگرم، خالص		۴۹٫۵۰			۳۶	
دستمزد		۳۶٫۵۰	۴۷۰		۲۰	۷۰۰
وسایل دیگر، مدل و غیره		۴٫۵۰	۶۰		۲	۷۵
زغال (حدود سه‌تن)		۴	۵۰		۲	۷۵
هزینهٔ عمومی		۳۶٫۵	۴۷۰		۲۰	۷۰۰
هزینهٔ تولید	۱۳۰۰	۱۳۱	۱۶۹۲	۳۵۰۰	۸۰	۲۸۰۷
سود، حوادث، بهره سرمایه ۲۰٪		۲۷	۳۵۸		۱۶	۵۴۳
فروش	۱۳۰۰	۱۵۸	۲۰۵۰	۳۵۰۰	۹۶	۳۳۵۰

مکانیسین‌ها برای حضور در نخستین نمایش فولاد خوش‌تراش که در ملاء عام انجام می‌گرفت ازدحام کرده بودند؛ فولادی که دو سال پیش از آن به توسط تیلور و وایت با حدود ۷/۷٪ تنگستن تراشه‌هایی ایجاد می‌کرد که دمایی از تیغچه جدا می‌شد که آن را آبی‌رنگ کرده بود، و در لحظاتی نوک تیغچه را به رنگ قرمز تیره در می‌آورد.

با این نوع تراشکاری فلزات، انقلابی واقعی ایجاد شد بود ـ انقلابی که بعدها ساختمان ماشین ـ ابزارها را بکلی تغییر می‌داد؛ از این پس آنها باید سریعتر بگردند؛ دارای صلبیتی کافی برای خنثی کردن نوسانها باشند؛ و توان آنها پیوسته زیادتر شود.

این دستگاه، ساخت آقای ف. و. تیلور و ثمرهٔ آزمایشهای طولانی و پر هزینه‌ای بود که کمک‌های آقای سلرز، هموطن وی را به یاد می‌آورد ـ هموطنی که او نیز با تحقیقاتش دربارهٔ سازمان کار پرآوازه شده بود ـ سازمانی که بمنظور «به‌دست آوردن بیشترین محصول و حداکثر رضایت‌مندی، برای نیل به‌حداکثر سود و کمترین مصرف انرژی، مواد و زمان، و تحقق تولید با هزینهٔ کم، که به‌کار هریک، حداکثر کالا و آسایش را تحویل می‌دهد».

اینکه آلیاژ فولاد تنگستنی را فولاد سریع (= خوش‌تراش) نامیده است، چیزی از ارزش این محقق برجسته نمی‌کاهد.

در زمان تشکیل کنگره **American Society for Steel Treating** که در اکتبر ۱۹۲۳ در فیلادلفی برگزار شد، آقای ج. ل. کوسک[1] سخنران، اظهار داشت: «من در این رابطه، دوبار (از دکتر سمیوئل ل. هایت دربارهٔ تیغچه‌هایی از فولاد تنگستن‌دار شنیدم) که اختراع فولاد خوش‌تراش، از آقایان تیلور و وایت است. من هرگز قصد آن ندارم که اعتبار بسیار زیاد این آقایان را دربارهٔ آنچه که کرده‌اند خدشه‌دار کنم، اما معتقدم که درست این است که صریحاً بگوییم که این اختراع از آن تیلور و وایت نیست، بلکه آن را آقای بروستلاین اختراع کرده است و این فولاد، نخست در کارخانهٔ **Jacob Holtzer & Cie** واقع در اونیو[2]، شهرستانی از لوار فرانسه ساخته شده است. فولادی که آقایان تیلور و وایت در آزمایشهای خود به‌کار برده‌اند، حتماً در آغاز، بر پایه آنالیز نمونه‌هایی که از فرانسه آمده بود، از فیلادلفی گرفته شده است. فولاد آنها سپس در بتلیهم ذوب شده است، و مدتها پیش از آنکه آزمایشهای آنها دربارهٔ عملیات حرارتی آن شروع شوند، این فولاد در بازار دادوستد منظمی داشته است.»

اثبات مطالب بالا را آقای لئون گیپه درکتاب خود با عنوان:

La France Pays de grandes de'couvertes عهده‌دار شده است، آنجا که تصریح

1. J. L. Cosc 2. Unieux

می‌کند که بروستلاین، مهندس Arts et Manufactures «نخستین کسی بود که اندیشه وارد کردن عناصر خارجی را در فولادهای معمولی ابزار کرده است»، نخست کروم، سپس تنگستن را در فولادهای کروم‌دار. در سال ۱۸۹۲ وی به شرکت **Midvale Steel** «تیغچه‌هایی آورد که با آنها برای نخستین بار توانستند بسرعتی دست یابند که تراشه‌های آبی رنگ ایجاد می‌کرد».

فولاد خوش‌تراش جانشین فولاد ریخته‌گری کربندار و نیز فولاد خود آب‌پذیر دارای تنگستن، منگنز و کروم شد که آقای دیوید ماشت اختراع آن را در ۱۸۵۰ به‌ثبت رسانیده بود اما کاربرد آن زیاد نبود (مگر از چند سال پیش) زیرا، دستگاهها به‌اندازه کافی سریع و محکم نبودند.

فولاد خوش‌تراش در ساخت تیغچهٔ برش، بی‌درنگ جانشین فولاد شد. تعویض دستگاههای قدیمی فعال با دستگاههای نوین، هماهنگ با تغییر طرز تفکر، با کندی انجام گرفت. با بررسی وسایل یک کارگاه انگلیسی، یک مهندس عالیمقام در سخن‌رانی خود با لحنی تحسین‌آمیز، گفته است: «این دستگاهها، گرچه با وسایل کاملاً ابتدایی ساخته شده‌اند، نه‌تنها طراحی آنها بسیار هوشمندانه است» بلکه به‌طور تحسین‌انگیزی، همچون یک اثر واقعاً هنری، نصب شده‌اند. دستگاههای تراش، که صفحهٔ کارگیر آن مستقیماً به‌توسط یک چرخ بی‌انتهای درگیر با تعدادی دندانه‌های چوبی هدایت می‌شوند، بیش‌از هشتاد سال کار کرده‌اند و هنوز هم کاملاً منظم کار می‌کنند. این دندانه‌ها، که با پیه و گرافیت مداد چرب می‌شوند، تا سی سال دوام می‌آورند و کشسانی آن با حذف تقریباً همهٔ بازیها، نرمی بسیار زیاد حرکت را تأمین می‌کند.

ماشین ـ ابزارها باید امکان اجرای کارهای شکل‌دهی را با دقت بسیار زیاد و بیشترین صرفه‌جویی ممکن فراهم آورند. در بخش دقت، اکنون در فرزکاری و برقوزنی به آنجا رسیده‌اند که حدود یک‌دهم میلیمتر و گاهی یک بیستم یا صدم میلیمتر را درنظر می‌گیرند.

با این همه، صنعت تازهٔ اتومبیل‌سازی، می‌رفت تا نمونه‌ای از آن را به‌دست دهد. این صنعت از وسایل تازه‌ای خبر می‌داد که تولید سریع قطعات تعویض‌پذیر و بسیار دقیق را تأمین می‌کنند و کارخانه‌هایی که می‌خواستند مجهز شوند بهترین دستگاهها، و روشهای ساخت بسیار جدید، کپی دستگاههای امریکایی را برمی‌گزیدند. همزمان با کاهش چشمگیر مدت ماشین‌کاری فلزات، امریکایی‌ها به کشورهای صنعتی اروپای پیر، نخستین نتایج بهترین کاربرد و بهترین بازدهٔ ماشین ـ ابزارها را چنین اعلام داشتند:

ـ کاهش ساعت کار در هفته به ۵۷، سپس ۵۴ ساعت؛

ـ افزایش پاداش اضافه‌کاری و تعویض مزد ساعتی به دستمزد برپایهٔ کارکرد؛

ـ تأسیس کارگاههای ابزارسازی جداگانه و تخصصی در خود کارخانه؛

ـ بهبود شرایط کار، مسکن بهتر، روشنایی کافی، ایجاد مؤسسات بهداشتی و نهارخوری.

مجمع سازندگان ماشینهای تراش، با ابتکار آقای و. لاج، از اول اکتبر ۱۹۰۲، نخست به بررسی یک طرح قانونی پرداخت که باید به کنگره تقدیم می‌شد و هدف آن تبدیل سیستم اندازه‌های امریکایی به سیستم متری، سپس با دقت و پشتکار زیاد، استانده کردن ضمایم و دستگاههای تراش، از قبیل سه نظام، میلهٔ مرغک، رنده‌گیر بود.

حدود سال ۱۸۶۰، صنایع امریکا بزرگترین پارتی ماشین ـ ابزار خود را از انگلستان وارد کرد و چهل سال بعد، جریان معکوس شد و آلمان به تقلید از انگلستان، ۴۰٪ صادرات امریکا را می‌خرید.

سال ۱۹۰۰ نقطهٔ آغاز مرحلهٔ نوینی بود که به کشف اجسام بسیار سخت، از کربیدهای فلزی، که با ذوب فلزات کمیاب و گرد شده به‌دست می‌آمدند، انجامید. نباید، سهم کارهای آقای هانری مواسان را در این کشف فراموش کرد.

پیشرفتهای ماشین ـ ابزار از ۱۹۰۰ تا ۱۹۲۵

در نمایشگاه عمومی پاریس، این دستگاهها درواقع هیچ نوآوری برجسته‌ای نداشتند. طراحی و ساخت آنها بهتر شده بود. ساخت دستگاههای خان‌کشی مورد توجه خاص بود. پیشرفتهایی در ساخت دستگاهها دیده می‌شد که از آن جمله، برگشت سریع صفحهٔ رنده‌بند (یا میز) و تیغچه، برگشت یا توقف خودکار همین قطعات، افزایش تعداد سرعت و مقدار حرکت طولی تیغچه، روغنکاری دستگاه با تلمبه (نه بر اثر وزن) را ذکر می‌کنیم.

سیستم فرمان با موتور برقی، بکندی به‌پیش رفت، اما فرمان هیدرولیکی هنوز عملی نشده بود، گرچه از مدتی پیش برای این کار تحقیق می‌شد.

نخستین دستگاه صفحه تراش با فرمان هیدرولیک در سال ۱۸۶۸ در انگلستان به نام م. سویفت[1] به‌ثبت رسید، وی با سر سختی از نظر خود دفاع می‌کرد. درواقع کار وی را افرادی مورد انتقاد قرار می‌دادند، مثلاً آقای هـ. ا. کومب[2] موضوع تغییر برش را پیش کشید که به‌عقیدهٔ سویفت، عملی نبود:

انتقادات کومب از دستگاه تراش، رسمیتر بود. نخستین امتیاز دستگاه تراشی که فرمان هیدرولیکی داشت در ژانویهٔ ۱۸۹۳ در امریکا به نام س. م. کنرادسن[3] به‌ثبت رسید، و امتیاز دیگری از آن در ۱۸۹۷ به نام آقای ج. بروکی[4] انگلیسی، و بالاخره امتیاز سوم در اکتبر ۱۸۹۹ به نام جیمز هارتنس به‌ثبت رسید که یک دستگاه تراش رولور ساخته بود.

1. M. Swift 2. H. A. Coombs 3. C. M. Conradson 4. J. Brockie

با آغاز سال ۱۹۰۰، این پیشرفت شتاب یافت. ماشین‌سازان در جست‌وجو بودند که طرح خود را چگونه باید تغییر دهند تا سرعتهای زیادتری در برش، همراه با حرکت عرضی و طولی عمیقتر از گذشته به‌دست آورند. آنان در این راه به آزمایشهای زیادی دست زدند.

آقای ف. هاسلر[1] به ما اطلاع می‌دهد که شرکت لووه واقع در برلین (که از ماشین‌سازان اصلی آلمان در پایان سده نوزدهم بود)، یک دستگاه تراش و یک دستگاه مته بسیار محکمی را برگزید زیرا از آنها کار سختی را می‌خواست. در پایان چهار هفته، هر دو دستگاه از کار مانده بودند. بستهای آنها بریده شده بود، چرخهای چدنی شکسته، کارگیر آنها تاب برداشته، یاتاقانهای ضربه‌گیر خراب شده بودند. می‌بایست در محاسبات همهٔ قطعات تجدیدنظر کرد.

دیگر سازندگان ماشین ـ ابزار برای پاسخگویی به مشتریان خود، کمی زودتر یا دیرتر ناچار، تحقیقات را دنبال کردند.

فهرست اصلاحاتی که در قسمت‌های مختلف ماشین ـ ابزارها، طی ربع اول سدهٔ بیستم انجام گرفته بسیار مفصّل است. آنها نتیجهٔ کشمکشهای نستوه دستگاه، تیغچه و فلز مورد عمل، بمنظور تولید قطعاتی هرچه بهتر، با هزینه‌ای هرچه کمتر، بودند.

چهار عامل اصلی که همواره در پیشرفت آنها کار می‌شد عبارت بودند از: توان، سرعت، دقت، و خودکاری.

توان: به گفتهٔ آقای هوله[2]، حدود سال ۱۸۶۰ یک دستگاه تراش را فوق‌العاده قوی می‌شمردند اگر در هر ساعت پنج کیلوگرم تراشه می‌داد، و در ۱۸۹۵ سنگینترین دستگاههای تراش، هنوز بیش‌از نه کیلوگرم در ساعت تراشه نداشت.

سی سال بعد، مقدار تراشه سی یا پنجاه بار بیشتر شده بود و توان دستگاه که در پایان سدهٔ نوزدهم از سه یا پنج اسب، بندرت بیشتر بود، در سال ۱۹۲۵ برای دستگاههای با سرعت زیاد، به ۱۰ تا ۲۰ اسب و حتی بیشتر رسید.

یکی از عوامل اصلی افزایش توان، به‌کار گرفتن دستگاه فرمان دارای فلکه تکی به‌جای فرمان با تسمهٔ مخروطی بود، که تسمه، نیروی کششی بسیارکمی بر آن اعمال می‌کرد. فلکه تکی با داشتن ابعاد و سرعتش، پیشرفت مهمی بود. این فلکه، علاوه‌بر امتیازات دیگر، تغییر سریع تیغچه یا قطعه را ممکن می‌ساخت، و بدین‌ترتیب، کارگر می‌توانست به‌آسانی مناسبترین سرعت را برگزیند. این فلکه همچنین کاربرد فرمان الکتریکی را هم آسان کرده بود، زیرا دستگاه در آن زمان با موتور خود تشکیل یک کل را می‌داد و می‌شد آن را در کارگاه در جای مناسب کار قرار داد.

1. F. Hassler 2. Hülle

سرانجام به برکت چنین تعویضی، جنگل تسمه‌ها که کارگاه را تاریک می‌کرد، رفته رفته خلوت شد و سرانجام از بین رفت و بدین‌ترتیب شرایط کار بهتر شدند.

سرعت: مسألهٔ سرعت به صلبیت دستگاه برمی‌گردد که باید دچار لرزش نشود، و نیز مربوط به تراش صحیح دنده‌های جعبه دنده، طرز آبدادن دندانه‌ها و سنباده‌کاری آنها، و بویژه مربوط به‌کارگیرها و بالشتکهای آنها می‌شود. این بالشتکها (یاتاقانها) یا از مفرغ فسفردار یا از چدن ساخته شده‌اند و باید زیاد روغنکاری شوند. کاسه ساچمه (بلبرینگ) که در سال ۱۹۰۰ بندرت دیده می‌شد در سالهای بسیار بعد، ۱۹۲۶، به‌شکل کاسهٔ مخروطی تیمکن[1] به‌کار گرفته شد، و در همین دوران هم ابزارگیرهای دستگاههای سنگزنی، بالشتکهای لیرزارها و به‌جای آنها ازکاسه ساچمه استفاده کردند.

دقت: دربارهٔ دقت باید یادآوری کرد که در دوران جنگ جهانی اول، یکصدم میلیمتر را واحد آن پذیرفته بودند.

در این باره باید از پیدایش دو دستگاه تازه، که هر دو ساخت شرکت تولید وسایل فیزیکی در ژنو بودند سخن گفت. یکی از آنها دستگاه سنگزنی دنده‌هاست، که در سال ۱۹۱۷ برای ساخت کالیبرهای دنده‌تراشی برای صنایع جنگی، و دومی ماشین متهٔ نقطه‌ای بود که دستگاه کوچکی، که نخست بمنظور ساعت‌سازی تهیه شده بود، اما پس از اندک مدتی، بزرگ آن ساخته شد، زیرا در کل کارهای مکانیکی به‌کار می‌رفت.

درواقع، ساعت‌سازی سویس، از حدود آغاز این سده از ابزارهایی استفاده می‌کرد تا مرکز سوراخهای شابلونهای مته‌کاری را جهت طَبَق یا سینی ساعت، سنبه نشان کند.

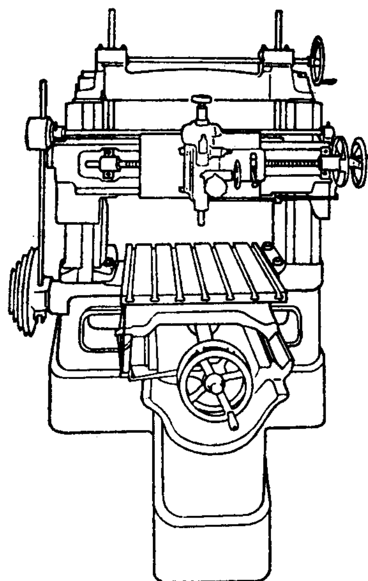
آقای پررنو[2] سویسی، سازندهٔ نخستین ماشین متهٔ نقطه‌ای ساعت‌سازی در ۱۹۰۹ بود، و این کار را تا سال ۱۹۱۵ ادامه داد، اما دو سال بعد، شرکت پرات اند ویتنی در امریکا دستگاه بزرگی ساخت که عمل مته‌کاری و برقوزنی را انجام می‌داد.

یک ماشین متهٔ نقطه‌ای، بنا به تعریف این شرکت ژنوی «به‌طور کاملاً ساده، ماشین ـ ابزاری است که می‌تواند در یک قطعه، سوراخی دقیقاً در جای مورد نظر، ایجاد کند ـ کاری که درگذشته هرگز امکان آن نبود و عجیب می‌نمود».

نخستین مدل صنعتی آن در ۱۹۲۱ کامل شد و یک کارخانهٔ اسلحه‌سازی انگلیسی آن را خرید. این شرکت Royal Small Arms Enfield Factory بود که کمی پس از آن نوشت «این دستگاه را می‌توان یک انقلاب واقعی در تکنیک کارگاهی دانست» (شکل ۱۶).

این دستگاه نقطه‌ای از آن پس نخست به‌عنوان یک وسیلهٔ ابزارسازی تلقی شد و با دقت در

1. Timken 2. W. Perrenoud



شکل ۱۶.نخستین ماشین مته سری‌کاری، ساخت شرکت ژنوی.

اطاقهای با دمای ثابت از آن نگاهداری می‌کردند، بعداً به‌عنوان یک دستگاه کارگاهی برای مته‌کاری، برقوزنی و فرزکاری بسیار دقیق به‌کار گرفته شد.

با این دستگاه که نه‌تنها از ورشکست شدن شرکت فوق جلوگرفت، بلکه به آن رونق نیز داد، هزارم میلیمتر در اندازه‌گیری دقت قطعات مکانیکی وارد شد.

خودکاری: این دورانِ شروعِ خودکاری بود. محقق است که از چندین دههٔ پیش، مرحله‌ای از آن طی شد که در جریان آن، حرکت قطعات دستگاهها به توسط بادامکهای استوانه‌ای یا مسطح مکانیسمهای تکثیر یا زبانه‌ای واگردان، خودکار شده بود.

تقارن خارق‌العاده‌ای سبب شد که بادامک تقریباً هم‌زمان (حدود ۱۸۷۰) توسط دو سازندهٔ دستگاه تراش سیلندر، که محققاً تماسی با یکدیگر نداشتند ـ آقایان: شوایتزر سویسی و اسپنسر امریکایی ـ به‌کار گرفته شود.

مشابه‌سازی، چیز تازه‌ای نیست، بلکه دستگاه تراش «کوچک‌کنندهٔ مدالهای» مرکلاین (۱۷۶۷) را درگذشته (مجلد دوم، صفحهٔ ۳۸۰) شرح داده‌ایم. به دنبال این کار، ماشینهای گوناگونی به

دستگاههای سادهٔ تکثیر مجهز شدند، مانند دستگاه تراش مخروط روی دستگاههای تراش ریلی، پیچ مادر و الگو روی دستگاههای دنده‌تراشی، شابلون روی دستگاه فرز و تعدادی دستگاههای تراش چرخدنده و غیره. کاربرد آن از آغاز در بیشتر انواع بزرگ دستگاههای فلزبرداری بسط یافت تا اینکه لزوم ساخت «دستگاههای ویژهٔ تولید، صرفاً با یک عمل، قطعات دقیقاً مشابه از یک مدل»: ماشینهای تکثیر (با کپی کردن) احساس شد.

در مورد زبانهٔ واگردان باید گفت که سادگی آنها سبب شد که از همان آغاز، روی دستگاههای تراش، فرزکاری، صفحه‌تراشی، برای توقف یا معکوس کردن حرکتهایی به‌کار گرفته شوند. بعدها، این وسیله، انگیزهٔ ساخت وسایل تولیدی نوینی شد که ردیفهای قطعات مشابه را مفصّلتر می‌کردند و آهنگهای تولید را افزایش می‌دادند.

سالهای جنگ: چهار سال جنگ جهانی اول، در پیشرفت ساخت ماشین ـ ابزار نیز، مانند دیگر رشته‌ها طی ربع نخست سدهٔ بیستم، تأثیر زیاد داشته است.

ارتشها به مقادیر عظیم اسلحه، مهمات و انواع وسایلی نیاز داشتند که تولید آنها انگیزهٔ پیشرفت چشمگیر ماشین‌سازی و در نتیجه، ایجاد پارکهای ماشین ـ ابزار در کشورهای متخاصم و دیگر کشورها شد. متفقین مقادیر بزرگی اسلحه از امریکا می‌گرفتند.، و طرفهای آنان از ماشین‌سازان آلمان. هر دو طرف در ساختن ماشین ـ ابزار پیشرفتهایی کردند، و سویس هم با استفاده از موقعیت خاص خود، به هر دو طرف اسلحه می‌فروخت.

در سالهای پس از جنگ، توقف ساخت وسایل جنگی، عملاً مانع پیدایش مدلهای تازه شد، تا اینکه زمانی، همچون سال ۱۹۰۰، فرارسید که برش فلزات بر اثر پیدایش «ابزارهای کربیدی» در ۱۹۲۶ به‌طور چشمگیری بهتر شد.

دوران از ۱۹۲۵ تا ۱۹۴۵

این دوران، همچون دوران پیش از خود، با کشف تیغچهٔ جدید برش، سپس با جنگ جهانی دوم، که تولید ماشین ـ ابزار را به سطح بی‌سابقه‌ای بالا برد، مشخص می‌شود.

تیغچه‌هایی از کربیدهای درهمجوش: در سال ۱۹۲۶ بود که نخستین نوکهای برندهٔ ساخته شده از کربید تنگستنی، نتیجهٔ بررسیهای آقای فرای[1] از کارخانهٔ کروپ به‌کار گرفته شد؛ به این جسم نام ویدیا Widia داده شد، زیرا سختی آن به الماس، بسیار نزدیک بود (Wie Diamant= مانند الماس).

1. Fry

کاربرد کربیدهای فلزی در تراشکاری، مثل فولاد خوش‌تراش، بعلت شکنندگی آنها، تدریجی و با احتیاط بود. از آن، در آغاز، با موفقیت برای تراشیدن چدن و فلزات غیرآهنی استفاده کردند، اما برش فولادها با دشواریهای بزرگی روبه‌رو شد که تنها با افزایش تیتان و تانتال به آن، برطرف شدند.

به‌نقل از یک نوشتهٔ ا. بلانپن[1]: *Théorie et Pratique des outils de coupe* (۱۹۵۵)

ارقام زیر، که سرعتهای برش را مقایسه می‌کنند، از دو دستگاه تراش دارای تیغچه از فولاد خوش‌تراش و یک «تیغچهٔ کربیدی» به‌دست آمده‌اند.

عمق برش به میلیمتر	پیشرفت طولی به میلیمتر	چدن سخت		فولاد $R =$ ۷۵ به ۱۱۰کیلوگرم		آلومینیم	
		خوشتراش	کربید	خوشتراش	کربید	خوشتراش	کربید
۰٫۸	۰٫۲	۳۰	۹۸	۳۷	۱۳۷	۱۹۸	۴۹۰
	۰٫۴	۲۳	۷۶	۲۷	۱۰۷	۱۵۲	۳۶۵
	۰٫۸	۱۸	۶۴			۱۰۶	۲۷۵
۱٫۶	۰٫۲	۲۸	۹۱	۳۰	۱۲۲	۱۲۲	۳۰۴
	۰٫۴	۲۰	۶۸	۲۳	۹۱	۹۱	۲۲۸
	۰٫۸	۱۵	۵۳	۱۷	۶۳	۶۹	۱۸۳

سرعت برش به متر در دقیقه حساب شده است.

این ارقام نشان می‌دهند که سرعت برش «تیغچه کربیدی» حدود سه برابر سرعت برش یک دستگاه تراش برای چدن سخت، حدود چهار برابر برای فولاد و ۲٫۵ برابر برای آلومینیم است.

نتایجی که با یک برقو یا یک صفحه تراش به‌دست آمده‌اند مشابه یکدیگر هستند.

در امریکا، کاربرد کربیدهای فلزی با سرعت کمتری گسترش یافت، دلیل این امر به گفتهٔ امریکاییها چنین است: «در ۱۹۳۹ مرغوبیت تیغچه‌ها کافی نبود و بهای آنها زیاد (بهای یک تیغچه از ۲۵ دلار در ۱۹۳۹ به نیم دلار در ۱۹۵۲ کاهش یافت، درحالی‌که تورم در این مدت دو برابر شده بود). دستگاهها بسیار کند کار می‌کردند و استحکام لازم را نداشتند.»

تجدید تسلیحات و جنگ: با به‌قدرت رسیدن هیتلر در ۱۹۳۳، آلمان تجدید تسلیحات را شروع کرد. هیتلر برای بازسازی ارتش خود بر پایه‌های تازه، مدت پنج سال، شبانه‌روز، برای به‌وجود آوردن واحدهای موتوری که شمار زیادی تانک و هواپیما از آنها پشتیبانی می‌کردند، ناگزیر از افزایش چشمگیر ماشین ـ ابزارها، به‌طور کمی و کیفی بود.

1. E. Blanpain

در آن زمان برای دقیقتر کردن ماشین ـ ابزارها، ماشین‌سازان آلمانی، از سال ۱۹۳۲ قواعدی را رعایت می‌کردند که پروفسور گئورگ شلزینگر پیشنهاد کرده بود. این قواعد برای راهنمایی تکنسین‌های شوروی مأمور خرید ۷۱۰۰۰ تن ماشین ـ ابزار؛ تحویلی در کارخانه تنظیم شده بود.

کتاب Prüfbuch für Werkzeugmaschinen به ماشین‌سازان فرانسوی توصیه می‌کند که با افزودن آزمایشهای عملی به کنترلهای صرفاً هندسی موردنظر، قواعد کاملتری را مورد توجه قرار دهند. مجموعهٔ جدید: Machines-Outils: reception, verification را آقای پیر سالمون[1] در ۱۹۳۷ تنظیم کرده است.

بی‌شبهه، تعمیم بازرسی ماشین ـ ابزارها در بیشتر کشورهای صنعتی، از عوامل پیشرفت است، زیرا امکان می‌دهد که بویژه در موارد زیر، مورد تأمل قرار گیرد:

ـ افزایش مرغوبیت مواد خام، چدنها هم مورد توجه خاص هستند (پیرسازی، که تراشکاری فوری را ممکن می‌کند، به‌کمک کوره‌های آبگیری (بازپخت) ایجاد می‌شود)؛

ـ عملیات حرارتی کارگیرها، آب‌دادن میز دستگاه تراش و چرخدنده‌ها با شعله، به‌کار بردن ریلهای بازگرداننده که آب‌داده و سنگزنی شده‌اند (ابتکار آب‌دادن القائی)؛

ـ کاربرد کاسه ساچمه یا قرقره‌های دارای دقت فوق‌العاده؛

ـ به‌کار گرفتن فرمان هیدرولیک در اکثر دستگاههایی که فلزبرداری می‌کنند (از جمله دستگاههای با حرکت عرضی طولانی، مانند صفحه‌تراشها)، چه برای حرکت برش، چه برای حرکت طولی تیغچه یا میز؛

ـ تکمیل ابزارهای اندازه‌گیری و کنترل جابه‌جاییها؛

ـ استفاده از روغنکاری و وسایل مربوط به آن برحسب نوع دستگاه، مشخصات اصلی آن و کاری که انجام می‌دهد.

از سوی دیگر، برای بهتر شدن سطح کار، پس از انجام کارهای دستگاههای معمولی، آن را در معرض کارهای تکمیلی نظیر شابرزنی، سنباده‌کاری (که نسبت به‌مدتی که کار شابرزنی لازم دارد ۷۵٪ صرفه‌جویی دارد)، پرداخت و بالاخره کارهای فوق تکمیل، قرار می‌دادند.

پرداخت با سنگ، با حرکتی متناوباً، دایره‌ای و راستخطی، حدود سال ۱۹۲۰ برای کارهای تکمیلی سیلندرهای موتورها، اصلاح شد.

با این همه، تنها در سال ۱۹۲۷ بود که نوعی تراشکاری مؤثر (معروف به honing ≈ صیقل‌کاری) همزمان با پرداخت سطح با سایندهٔ آزاد یا lapping ≈ (پرداخت زرگری) پدید آمد.

1. P. Salmon

در مورد کارهای فوق تکمیل، که آلمانیها در اواخر جنگ آن را انجام می‌دادند، باید گفت که از سنگ سنباده‌ای استفاده می‌شد که بسته به اینکه سطح کار، استوانه یا مسطح بود، حرکات متفاوتی داشت. فشار روی کار، بسیار کم بود و با آن کمتر از ۰٫۰۰۵ میلیمتر برداشته می‌شد.

در پایان یادآوری کنیم که افزایش پیوستهٔ سرعت و قدرت ماشین ـ ابزارها، ماشین‌سازان را واداشت تا از همان مصالح و همان روشهای تراشکاری اتومبیل‌سازان بهره گیرند. مثلاً، بدین دلیل، برای هدایت کارگیرهای ماشین تراش، چرخدندهٔ ساخته شده از فولاد معمولی را که بسیار بزرگ و سنگین بود (که نواقص تراش هم در سطح کار ایجاد می‌کرد) به چرخدندهٔ واسطه بسیارکوچکتر، اما از فولادهای آلیاژی، که در اثر عملیات حرارتی مقاومتر می‌شد، تبدیل کردند. چرخدنده‌های واسطه‌ای را سپس با دستگاههای ویژه‌ای سنگ می‌زدند، بعدها (حدود ۱۹۳۰) با Shaving(تەتراشی) یا با براق‌سازی burnishingاین کار را انجام دادند.

در صنعت اتومبیل‌سازی هم، به‌طورکلی، از ماشین ـ ابزار بهترین استفاده می‌شد، مثلاً با استفاده از مجموعهٔ آنها، قطعات از یک پُست کاری به پُست دیگر به‌طور خودکار انتقال می‌یافتند.

به‌نظر آقای آلبر متral[1]، نخستین بار این کار در سال ۱۹۲۳ انجام گرفت. در آن زمان برای این کار، آقای فرانک ج. وولارد[2] ماشینی طرح کرد که «شرکت انگلیسی: Automobiles Morrisآن را به‌کار گرفت.

این ماشین کار خود را بر روی قطعهٔ خام ریخته‌گری شدهٔ بلوکهای سیلندر، به وزن حدود ۲۰ کیلوگرم شروع می‌کرد و تا پایان مرحلهٔ تکمیل، پیش می‌رفت. طول این ماشین ۱۸۱ پا، ارتفاعش ۱۱ پا و ۴ اینچ و عرض آن یازده پا بود. این ماشین ۵۳ پُست ماشین‌کاری و ۸۱ موتور برق با توان کلی ۲۶۷ اسب بخار داشت: چرخهٔ کار آن چهار دقیقه زمان می‌گرفت و اگر مدت ماشین‌کاری اصلی از چهار دقیقه بیشتر بود از یک خط دوم استفاده می‌شد». اینکه چگونه در این ماشین، قطعات از یک پُست دیگر منتقل می‌شدند، معلوم نیست.

آقای پیر بزیه نیز بنوبهٔ خود «ایجاد یکی از نخستین خطوط اتومبیل‌سازی ـ اگر نگوییم نخستین خط آن را، که قطعه‌ای که می‌بایست ماشین‌کاریهای متعددی را در جهات گوناگون تحمل کند روی آن گردانیده می‌شد»، متعلق به شرکت اتومبیل‌سازی دلاژ[3] واقع در کوربووا[4] (حدود سال ۱۹۲۵) می‌داند. وی می‌افزاید: «از این ریل که شاسی روی آن می‌گردید. و پیچ و مهره می‌شد، خطوطی پدید آمدند که رفته رفته پیچیدگی آنها زیادتر می‌شد؛ از خط اینگرسول[5] (۱۹۳۴) که جابه‌جایی

1. A. Metral 2. F. G. Woolard 3. Delage 4. Courbevoie 5. Ingersoll

سه کارتر ـ سیلندر در آن با دست انجام می‌گرفت تا خط گرنلی[1] (۱۹۴۲) که سر سیلندرهای پرات اند ویتنی حدود بیست متر از آن را می‌پوشانیدند و پس از هر عمل، به‌طور خودکار باز می‌شدند، برمی‌گشتند و جابه‌جا می‌شدند. از این تاریخ به بعد ماشین جابه‌جاکنندهٔ خطی خودکار (که امریکاییها آن را: processing machine یا transfer-machine می‌نامند)، تنها تغییرات کوچکی را متحمل شد.»

نخستین خط زنجیر فرانسوی جابه‌جاکنندهٔ راستخطی، که کاملاً خودکار است، خط زنجیر شرکت ملی کارخانه‌های رنو می‌باشد که در ۱۹۴۷ برای ماشین‌کاری سیلندرهای چهار اسب خود ساخت. پس از رسیدن قطعهٔ خام به زنجیر، خودکاری تا پایان ادامه می‌یابد. و در انتهای زنجیر اتومبیل کاملی که از مقابل همهٔ پستهای کاری گذشته است، تحویل می‌شود.

در ممالک متخاصم، بویژه در امریکا چنین مکانیسمی احتمالاً ساخته شده بود تا تولید وسایل جنگی به میزان مورد نظر به‌دست آید. آقای آندره موروا در کتاب خود: Histoire des Etats-Unis یادآور می‌شود که در ۱۹۴۲ کارخانه‌های امریکا ۳۲۰۰۰ تانک، ۴۹۰۰۰ هواپیما و ۸۲۰۰۰۰۰ تن کشتی تجارتی ساختند و این ارقام در سال بعد، به طور وسیعی زیادتر شد.

کارخانه‌های ساخت ماشین ـ ابزار بدون وقفه کار کردند. تنها برای ماشینهایی که فلزبرداری می‌کردند، مقدار تحویلی آنها از ۴۲۰ میلیون دلار، حدود ۱۹۴۰، به بیش‌از ۱۳۰۰ میلیون دلار در ۱۹۴۲ رسید.

طبیعتاً دغدغهٔ افزایش تولید، پیش از هرچیز، اهمیت نقش کارگاه و مقام دفاتر تحقیقاتی را در ردیف دوم اهمیت قرار می‌دهد و گویا این امر توضیح می‌دهد که چرا در امریکا، آلمان و بریتانیای کبیر، شمار نوآوریها در این سالها نسبتاً کم بوده است.

دستگاههای شکلدهی به فلز: تحول این دستگاهها، که ساده‌تر از دستگاههای فلزبرداری هستند، کمتر چشمگیر بود، زیرا وظایف آنها دقت کمتری می‌طلبد. کوششهای سازندگان آنها اساساً متوجه توان، سرعت کار، و نیز ایمنی کار با آنها بود.

این دستگاهها، اکنون بیش ازگذشته به‌کارگرفته می‌شوند، زیرا، از یکسوی مصرف فولاد برای ساخت انواع سیم، لوله پروفیل، ورقهای ستبر و نازک و غیره هر روز بیشتر می‌شود؛ و، از سوی دیگر، به سائقهٔ صرفه‌جویی در مصالح و پرهیز از آخال به آنها روی آورده‌اند؛ و نیز در روش شکلدهی، قطعه به عملیات تکمیل نیازی ندارد.

اما طی سالهای بعد، پیشرفت محسوسی در این رشته به‌وجود آمد.

1. Grenlee

تحول در روزگار کنونی

همان‌طورکه پس از جنگ ۱۹۱۴ـ۱۹۱۸، سالهای زیادی گذشت تا ماشینهای اضافی به‌طور کامل، از نو، رده‌بندی شدند، پس از جنگ ۱۹۳۹ـ۱۹۴۵ نیز همین وضع تکرار شد. مثلاً در ممالک متحدهٔ امریکا، در آغاز سال ۱۹۴۷، سازمان Reconstruction Finance Corporation اطلاع داد که حدود ۵۰۰۰۰۰ ماشین دولتی هنوز مانده است که باید آنها را جا دهد. تولید نیز به ۲۰٪ سال ۱۹۴۲ کاهش یافت و مدلهای جدید، چندان نبودند.

در اروپا نیز وضع تفاوتی با امریکا نداشت. اتحادیهٔ ماشین‌سازان شش کشور، در ۱۹۵۰ تصمیم گرفتند که کمیتهٔ اروپایی صنف صنایع ماشین ـ ابزار را تشکیل دهند؛ کمی بعد، شش کشور دیگر به آنها ملحق شدند.

یکی از وظایف این کمیته عبارت بود از «سازمان دادن دوره‌ای نمایشگاهها. هدف از برگزاری این نمایشگاهها این بود که برای مصرف‌کنندگان و نیز کسانی در بخش اداری چه علمی و چه فنی، که به تحقیق در این مورد علاقه‌مند هستند، همهٔ امکانات بررسی را در یک محل و در چارچوب نوعی مقابلهٔ فنی ـ تجارتی جدیدترین پیشرفتهای تکنیکهای تولید، فراهم آورد. گروه‌بندی ماشینها در همان نمایشگاه نخست، که در ۱۹۵۱ در پاریس برپا شد، این مقابله را آسان ساخت.

این نمایشهای باشکوه، بازدیدکنندگان سراسر جهان را که بدین طریق می‌توانستند از تحول روشهای ساخت، وسایل لازم برای کاهش زمان‌های مرده و خلاصه، از همهٔ عوامل مؤثر در بهتر کردن تولید آگاه شوند به خود جلب کرد.

تیغچه‌های با نوک سرامیکی: زادگاه این تیغچه‌ها، نه روسیه (که نوشته شده است) چک‌واسلواکی و نتیجهٔ تحقیقات کارخانه‌های اشکوداست. در سال ۱۹۲۶ دو اشکال بزرگ کاربردِ به‌اصطلاح «تیغچه‌های کربیدی» آشکار شد: تردی این تیغچه‌ها، که با افزایش اکسیدهای دیگر به اکسید آلومینیم کاهش یافت و نصب دشوار آنها روی پایه.

نمایشگاه ماشین ـ ابزارها در شیکاگو، ۱۹۵۵، با استقبال زیاد مردم مواجه شد. در آن زمان پنج سازنده ماشین ـ ابزار امریکایی وجود داشتند.

حدود سال ۱۹۵۱ آقای کربولوی در تحقیقات خود به نتایجی رسیده بود و «یک اکسید را که بهترین سرعت کاربرد آن ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در دقیقه بود» به‌کار می‌گرفت.

«در یک دستگاه تراش جونز اند لمسن، تیغچه‌ای با نوک سرامیکی، تراش تکمیلی و خشک قطعه‌ای با قطر بیرونی ۳۰۵ میلیمتر را با سرعت ۵۸۵ متر در دقیقه انجام می‌داد. استحکام تیغچه

امکان تراشکاری یک سطح ۹۶۷۵ سانتیمتر مربع را دربرابر ۶۴/۵ سانتیمتر مربع با سرعت ۲۴۰ متر در دقیقه با تیغچه کربیدی، فراهم آورده بود.»

اما باید گفت که در آغاز سال ۱۹۵۶ بود که دو صنعتگر با نامهای نورتون و کربولوی، شروع به فروش تیغچه‌های خود کردند؛ آقای نورتون اعلام کرد که تیغچهٔ وی با سرعتی سه برابر ـ تیغچه‌های کربیدی رایج عمل می‌کند و نفر دوم اطمینان می‌داد که سرعتهای تیغچه‌های وی می‌تواند به ۲۲۵۰ متر در دقیقه برسد و از تیغچه‌های شیکاگو که ۱۰۰۰ متر در دقیقه می‌تراشد، بهتر است.

«تیغچه‌های سرامیکی» برای نخستین بار در اروپا، در نمایشگاه اروپایی هانور، ۱۹۵۷، عرضه شدند. در جریان عملیات تراشکاری و فرزکاری، معلوم شد که سطوح تراشیده شده، قابل مقایسه با سطوح به‌دست آمده با «تیغچه‌های الماسی» است، اما به‌علت شکننده بودن تیغچه‌های سرامیکی، نیاز به دستگاههای بسیار صلب پیش آمد زیرا «آنها به مجرد درگیرشدن با تراشه، حتی درصورت ایجاد لرزشهای کم هم، خرد می‌شوند». بدین علت کاربرد آنها محدود ماند و در ساخت ماشین ـ ابزارها، تغییر چشمگیری به‌وجود نیامد.

نقش روزافزون خودکاری: «ماشین ـ ابزار، در اصل، خودکاری است؛ راه طبیعی و تحول پیوستهٔ آن همانا خودکار شدن روزافزون است.»

کمیتهٔ اروپایی ماشین ـ ابزار، با تیغچه‌ای که در ۱۹۵۸ در همهٔ کشورهای صنعتی رواج داشت، اثر مثبت خودکار شدن را نشان داد. نمونه‌ای که انتخاب شده بود ماشین‌کاری یک سر سیلندر موتور، ساخته شده از آلیاژ سبک بود:

در ۱۹۵۰ این ماشین‌کاری به توسط ۲۶ دستگاه اونیورسال انجام می‌گرفت. قطعهٔ خام را با دست روی هر دستگاه، می‌بستند. این قطعه فلزبرداری می‌شد، باز هم با دست، پس از ماشین‌کاری، سپس جابه‌جا می‌شد، همهٔ این کارها با دست، روی بدنه‌های متحرکی در برابر متصدیان این دستگاهها انجام می‌گرفت.

تولید ماهانه در آن زمان ۲۵۰ قطعه به توسط هر کارگر بود.

در ۱۹۵۳ از یک دستگاه ناقل نیمه خودکار، با ۱۳ پست کاری استفاده می‌شد. در مدخل این دستگاه، قطعه را، یک بار برای همه کارها، روی پایه‌ای که آن را از برابر همهٔ پستهای ماشینکاری می‌گذرانید، سوار و در انتهای دستگاه آن را پیاده می‌کردند.

«تولید ماهانه با این دستگاه به ۷۱۴ قطعه به توسط هر کارگر رسید، که ۲/۸۵ برابر سال ۱۹۵۰ بود.

«از سال ۱۹۵۷، این دستگاه ناقل، سراسر خودکار شد. این ماشین ۲۷ پست کاری و ۳ پست کنترل داشت و نیز موضعی برای برگردانیدن، برداشتن و بلند کردن قطعه، قطعه را روی پایه‌ای محکم می‌کنند، قطعه به‌طور خودکار دربرابر همهٔ پستهای کاری برده می‌شود و در پایان ماشین‌کاریها نیز به‌طور خودکار جدا می‌شود.

«تولید ماهانه با این دستگاه ۶۵۰۰ قطعه به توسط هر کارگر است که ۲۶ برابر مقدار تولید در ۱۹۵۰ می‌باشد.»

نویسنده نتیجه می‌گیرد: «ازاین بهتر چگونه می‌توان نشان داد که کاربرد عقلائی ماشین ـ ابزارهای نوین، بهره‌وری را در چه مقیاس بزرگی افزایش داده است؟»

درواقع، در طی همین دوران، پیشرفت تکنیک از لحاظ کاهش هزینهٔ تولید، برای تولید کلان، متوسط یا خرد ـ، یا حتی اجزای تکی قطعات پیچیده‌تر هم جالب است. ماشین‌سازان، درواقع، سیستمهای فرمان برنامه‌ای را که شناخته شده بود و نیز تغذیه ماشینها را نه‌تنها ازنظر قطعات، که با تیغچه، آن‌طور که بعدها خواهیم دید، تکمیل کرده بودند.

تراش تکثیری دارای دقت کافی نبود. این عیب با ابزار حساس بزرگ‌کننده از بین رفت. این ابزار در جنگ دوم جهانی به خدمت گرفته شد، اما تکثیرکننده‌های هیدرولیکی، الکترومکانیکی و بعدها الکترونیکی بویژه اثر بزرگی در ترویج آن داشتند و اکثر گروه‌های ماشین ـ ابزارها، بویژه فرزها برای شکلهای پیچیدهٔ مثلاً قالبها می‌توانند از آن استفاده کنند. این شکلها را می‌توان از چندین سر، که از یک مدل، قطعات زیادی می‌سازند تولید کرد.

روی دستگاه تراش ریلی (بدون پیچ مادر)، این ابزار حساس، به یکی از حرکتها فرمان می‌دهد: حرکت عرضی که قطر را می‌دهد، درحالی‌که در ماشینهای دارای علمیات پیچیده‌تر (ازقبیل تراشهای عمودی و فرزها) این ابزار، به دو یا حتی سه حرکت فرمان می‌دهد.

تا زمان پیشرفت فرمان عددی، ماشین‌کاری تکثیری، یک قاعده بود.

درماشینکاری عمودی، خودکارشدن به‌کمک زبانه‌های واگردان و شستی‌ها باکاربرد برنده‌های میکروسکوپی، به مجرد حصول بهترین ساخت که آنها را «دقیق، مطمئن و به قدرکافی محکم کرد که بتوانند بدون خراب شدن، شمار زیادی حرکت را انجام دهند.» تکمیل شد.

به این دو سیستم فرمان برنامه‌ای با تکثیر کردن یا با زبانه‌های واگردان، سیستم دیگری را باید افزود که ازکارتها یا نوارهای سوراخ شده (پانچ) استفاده می‌کند. کارت تقریباً به‌شکل مقوای دستگاه بافندگی ژاکار عمل می‌کند و نوار، مانند چکش پیانوهای معمولی. آیا باید یک سده و نیم

در انتظار ماند تا کارت سوراخدار در ماشین ـ ابزار به‌کار گرفته شود (و تقریباً نیمی از این مدت برای غلتک)، هیچ تعجبی ندارد: قطعاتی که باید جابه‌جا شوند بسیار سنگین هستند و دقتی که برای جابه‌جا کردنها باید به‌کار رود، در ردیف صدم میلیمتر، و در مواردی حتی در حد میکرون است.

نوع خاصی از فرمان برنامه‌ای، فرمان عددی است. طبق نوشتهٔ یک مجلهٔ سویسی، این نوع در ۱۹۵۱، در نمایشگاه اروپایی پاریس عرضه شد؛ عرضه‌ای با فروتنی زیاد و بر روی دستگاه تراشی که توجهی را به خود جلب نکرد. برعکس، در نمایشگاه هانوور ۱۹۵۷ حضور آن بسیار چشمگیر بود، اما هنوز باید دو سال انتظار کشیده می‌شد تا معلوم شود که چند ماشین‌ساز اروپایی به آیندهٔ آن علاقه دارند. از این پس، شمار این دستگاه روزافزون شد و نیز، انواع ماشینهایی که آن را مورد استفاده قرار می‌دادند، بویژه زمانی‌که بهای آن تا حد قدرت خرید مشتریان پایین آمد.

فرمان عددی می‌تواند پیوسته یا ناپیوسته باشد. در حالت نخست، از آن برای ماشین‌کاری با تراش پیوسته، خمها، دوره‌ها و شکلها استفاده می‌شود؛ اما در حالت دوم، در زمانی‌که صفحه رنده بند، برای اینکه تیغچه را به نقاط معینی که باید بتراشد جابه‌جا می‌کند، تراشکاری متوقف می‌گردد. روش کار را می‌توان نیمه خودکار یا خودکار پیش‌بینی کرد. در مورد اخیر از یک نوار پانچ شده استفاده می‌شود که ابزار حساسی روی آن، فرمانهای ثبت شده را می‌خواند.

کمی بعد، مرحلهٔ دیگری آغاز شد. این مرحله هم در پاریس در نمایشگاه اروپایی سال ۱۹۵۹ بود که توجه بازدیدگنندگان معطوف دستگاهی شد که تعویض تیغچه در آن به طور خودکار انجام می‌گرفت. این دستگاهی بود که هم نوک دادن و تیز کردن و هم برقو، فرز، مته و حدیده‌کاری را انجام می‌داد، شبیه یک دستگاه برقو زن عمودی با دو کارگیر بود: یکی جهت کارهای قوی، دیگری برای سرعتهای زیاد. دو طبلک که در دو طرف سر آن بودند، ۵۴ تیغچه را به‌طور خودکار عوض می‌کردند: ۱۸ تیغچه کارگیر بزرگ، ویژهٔ کارهای نوک دادن برقو زنی و فرزکاری، و ۳۶ تیغچه برای کارگیری کوچک و سرعت زیاد مته و قلاویز کاری بودند.

این دستگاه به گروه ماشینهای با فرمان عددی ناپیوسته، نیمه خودکار یا خودکاری تعلق داشت که نقطه به نقطه کار می‌کرد. محل تیغچه با دقت ۰٫۰۰۵± میلیمتر نسبت به ضلع مورد نظر تعیین می‌شد. برای ماشین‌کاری سری قطعات، دستگاه را با ابزاری مجهز می‌ساختند که یک نوار پانچ شده (یک فیلم ۳۵ میلیمتری استانده)، به آن فرمان می‌داد.

درواقع، دربرابر نخستین دستگاه اونیورسال ماشین‌کاری قرار داریم و آن دستگاه چند منظوره‌ای است که می‌تواند یک قطعه را از هر لحاظ تکمیل کند، یعنی بدین‌ترتیب بویژه در جاگذاری، و

دستکاری قطعه و نیز زمان لازم برای تنظیم و دقت، صرفه‌جویی می‌شود.

کیفیت کار این دستگاه، یکسان ارزیابی نمی‌شد تا روزی که در نمایشگاه هانوور ۱۹۶۷، چندین ماشین‌ساز، دستگاههای مشابهی عرضه داشتند که دیگر آنها را نه «دستگاههای اونیورسال ماشین‌کاری» که «مراکز ماشین‌کاری» نامیدند.

افزودن بر خودکاری و چرخهٔ کار، تعویض تیغچه‌ها، در همان دوران، یعنی ۱۹۶۰ تصمیم گرفته شد که کارهای قطعه‌گذاری و قطعه‌برداری و تغذیه نیز به‌صورت خودکار انجام گیرند.

در مورد تغذیه، که از زمان استفاده از وسیلهٔ پیشبرکار با وزنهٔ تعادلی در دستگاههای تراش سیلندر به بعد هیچ تغییری نکرده بود، بهبود لازم بازدهی، دفتر تحقیقات را ناگزیر ساخت که راه‌حلهایی از دو سوی بیابد: از یکسوی، کارایی بهتر ماشین مورد بررسی قرار گرفت و از سوی دیگر، وزن، حجم و شکل قطعات مورد عمل. از این روی برای انتقال قطعات از یک پست کاری به پست دیگر، دستگاه ناقل، جعبهٔ تغذیه، یا اینکه برای قطعات بسیار کوچک، سیلوهای قیفی گردان یا لرزنده ساخته شدند. باز، در همین راستا، بشرط مناسب بودن شکل (چرخدنده، کاسهٔ ساچمه، میله‌ها و غیره)، در مؤسساتی، که گاهی بسیار مهم بودند، این قطعات از یک دستگاه به دستگاه دیگر، جهت اجرای کار، به‌طور خودکار و بدون دخالت دست، برای همهٔ مراحل کار، انتقال داده می‌شد.

پدیدهٔ خودکار شدن، کمی بعد، برای بار دیگر، زمانی‌که کنترل بعضی قطعات به‌لطف اندازه‌گیری خودکار کالیبرها، خودکار شد، پیشرفت کرد. برای این کار، یک ابزار مقایسه یا خطانما، در جریان ماشین‌کاری روی قطعه گذاشته می‌شود، تا تحول سطح اصلی قطعه، بمنظور صدور فرمان توقف دستگاه به مجرد حصول اندازهٔ مورد نظر، مستمراً کنترل شود. متأسفانه اندازه‌گیری خودکار کالیبرها، در گرو داشتن اندازه‌گیری با دقت زیاد، حساس، همچنین کمتر شکننده است. بدین‌علت، تنها در ماشینهای سنگزنی سطوح صاف یا استوانه‌ای می‌توان از آنها استفاده کرد. در ماشینهای سنگزنی بدون مرغک، قطعهٔ تمام شده، به هنگام خروج اندازه‌گیری می‌شود. این ابزار کنترل کننده، همینکه اندازهٔ قطعه به‌حد مجاز رسید به سنگ سنباده فرمان برگشت می‌دهد و بدین‌ترتیب، از تولید قطعات ردّی جلو گرفته می‌شود.

چنین تمهیدی موجب تنظیم خودکار ماشین می‌شود، و این دستاورد بزرگی است زیرا مثلاً در اثر فرسایش تیغچه‌ها، قطعهٔ تراشیده‌شده، پس‌از گذشت مدت کم‌وبیش زیادی دیگر قابل قبول نیست و باید آن را دور انداخت.

چنانچه خودکار کردن دستگاه به‌طور کامل انجام نشده باشد ابزار بازرسی بدین بسنده می‌کند

که با روشن کردن چراغ یا بوق زدن اطلاع دهد که قطعهٔ مورد عمل از اندازه خارج است و کارگر برای اعمال اصلاحات لازم دخالت می‌کند. چنین دستگاهی را، کنترل سر خود می‌نامند.

علاوه‌بر دستگاههای سنگزنی، دستگاههای چرخدنده تراش، خود تنظیم ساخته شده‌اند. همچنین دستگاههای تراش، برقوزنی و فرزکاری کنترل سر خود هم هست؛ اما پیشرفت آنها آهسته بوده است زیرا ابزارهای اندازه‌گیری آنها با تراشه‌ها یا براده‌های فلزی، سازگاری خوبی ندارند و کیفیت کار آنها پایین است.

دستگاههای جدید: در نمونه‌ای از بهره‌دهی که کمیتهٔ اروپایی ماشین ـ ابزار، آن را برگزیده است و ما آن را نقل کردیم، دستگاهی که در ۱۹۵۷ به‌کار گرفته شد، نوعی دستگاه ناقل بود که ۲۷ پست کاری داشت. این واحدهای کوچک الکترومکانیکی، که «واحدهای ماشین‌کاری» نامیده شدند، نخست بمنظور انجام عملیات مته‌کاری یا قلاویز کردن، بعد برقوزنی، سوهانکاری و فرزکاری بودند.

آنها در آن زمان، زنجیر ماشینکاری سیلندرهای موتور چهار اسب رنو را، در ۱۹۴۷ تجهیز کردند و چون، اگر به‌طور خوبی مرتب شوند، ترکیبات بسیار گوناگونی تولید می‌کنند، در ساختهای متعدد بسیار متنوع، کاربرد دارند. در صورت امکان، بازده آنها با مکانیسم انتقال راستخطی یا دایره‌ای قطعات چند برابر می‌شود. نمونهٔ زیر، هرچند که از یک صنعت اتومبیل‌سازی گرفته شده است، اجازه می‌دهد پیش‌بینی کنیم که امکانات واحدهای ماشینکاری گسترش خواهد یافت. آنها در سال ۱۹۶۱ همچنین نشان دادند که کاربرد این ماشینها برای برطرف کردن مشکلات ساخت قطعات بسیار پیچیده تا چه اندازه سریع بوده است.

ـ یک دستگاه ناقل راستخطی، در تولید کارترهای جعبه دنده به‌کار گرفته شد.

این دستگاه ۴۶ سر الکترومکانیکی داشت که به‌طور خودکار ۷۸ عمل ماشینکاری و کنترل را انجام می‌دادند. تولید ساعتی آن، ۶۰ کارتر بود.

ـ برای ساخت قطعات کوچک، از دستگاه ناقل ساده‌تر، بنابراین ارزانتری به نام «مینی ناقل» استفاده می‌شد. یکی از آنها ویژهٔ تولید تکیه‌گاه میل انگشتی سوپاپ بود، شش پست‌کاری داشت و دوازده واحد مقابل یکدیگر قرار داشتند. تولید این دستگاه ۴۰۰ قطعه در هر ساعت بود.

ـ برای تولید قطعات بسیار نازک، که زیر فشار خارجی کج می‌شوند یک واحد ماشینکاری روی بدنه‌ای مشابه بدنهٔ یک دستگاه فرزکاری عمودی، با صفحه‌ای که در سه حالت به‌طور خودکار نوسان می‌کند، مونتاژ شده بود. این واحد، یک کارتر توزیع روغن را در ۰/۴۲ دقیقه، پرداخت، پخ و برقوکاری می‌کرد.

ـ ماشینکاری کامل محلهای پوستهٔ سیلندر و انگشتی سوپاپ موتورهای ۱۲ سیلندر خورجینی (V شکل)، روی دستگاه عمودی بزرگی که دو واحد ماشینکاری داشت (یکی با قدرت پنج و دیگری ده اسب)، که دو میلهٔ برقو را کنترل می‌کردند، انجام می‌شد. این دستگاه، هر طرف موتور را در ۳/۳ دقیقه، تمام می‌کرد.

تقریباً همهٔ ماشین ـ ابزارها از مقداری نرمی و سرعت عمل الکترونیک برخوردار بودند، این خصلت در گسترش فرمان عددی مؤثر بود. فرمان عددی، که تا آن زمان در بیشتر «ماشینهای تراشه‌ساز» گذارده شده بود، برای نخستین بار، در نمایشگاه اروپایی بروکسل، ۱۹۶۵، بر یک دستگاه سنگزنی عرضه شد و قطعات با ابعاد گوناگون را در یک رفت، از بیرون سنگ می‌زد.

دو سال بعد، در هانوور، این فرمان، صفحه‌تراشی را کنترل می‌کرد که رنده‌گیرهای معمولی در آن جای خود را به برجک رولور با تعویض خودکار تیغچه‌ها داده بودند. در همان اوان، ماشین منگنه‌هایی یا با فرمان عددی یا با مکانیسم تکثیرکننده تحویل می‌شدند، و نیز مجموعهٔ خودکاری که از یک پرس ناقل ۳۲ تنی تشکیل شده بود، و با ده پست‌کاری، ضرباهنگ آن تا ۱۵۰ ضربه در دقیقه می‌رسید، به نمایش گذارده شدند. به تعدد وسایل مراقبت و ایمنی که در آن پیش‌بینی شده بود اشاره رفته است.

تا زمان حال، همان‌طور که دیدیم، نمایشگاه اروپایی ماشین ـ ابزارها، به‌لطف شرکت بهترین ماشین‌سازهای دوازده کشور شرکت‌کننده، امکان پیشرفتهایی فراهم آورده‌اند و مدلهای تازهٔ خود را همزمان با آخرین روش ماشین‌کاری عرضه داشته‌اند.

در پاریس، به سال ۱۹۶۹، بازدیدکننده، بویژه از گسترش فرمان عددی در ماشینهای تکثیرکننده و دستگاههای اونیورسال ماشین‌کاری (که آنها را مراکز ماشین‌کاری می‌نامیدند) و نیز از حضور بسیار چشمگیر ماشینهایی که با روشهای برقی کار می‌کردند، شگفتزده می‌شد.

آقایان م. بروما[1] و ژ. رونسن[2] اشاره می‌کنند که بررسی یا لااقل مشاهدهٔ پدیدهٔ سایش با برق، چیز تازه‌ای نیست. درواقع در سال ۱۷۶۸ آقای پریستلی با زدن یک جرقه در هوا، بین یک صفحه و یک سوزن، تشکیل یک لکهٔ مرکزی تیره را که با حلقه‌های رنگین احاطه شده بود، آن را نشان داده است. همین نویسندگان مراحل بررسیها و کارهایی را ترسیم کرده‌اند که در این زمینه تا ۱۹۴۴ ـ سالی که لازارنکو[3] «نخستین کسی که از این پدیده در صنعت استفاده کرد» ـ انجام گرفته است.

چنین می‌نماید که نخستین دستگاههایی که با جرقهٔ برقی، فلزبرداری می‌کنند در سال ۱۹۵۲ در انگلستان، پس از تحقیقات لیولین جونز ساخته شدند. محققان بعدی، فرانسویها بودند که در

1. M. Bruma 2. J. Roncin 3. Lazarenko

۱۹۵۳ و در میلان آنها را عرضه کردند و چند ماه بعد ساختهای سویسی، آنها را به پیش برده بودند.

ماشینهای فلزبرداری با برق، یا جرقه‌کاری، تدریجاً مواد سازای الکترودهایی، که جرقه‌های الکتریکی بین آنها زده می‌شود، را فاسد می‌کردند. اصلاحات این ماشینها آنها را در ساخت قالب یا ماتریس دستگاه سنبهٔ ماتریسکاری، رفته‌رفته رقیب دستگاههای فرز تکثیرکننده ساخت. این ماشینها دقت شکلها را تا یکصدم میلیمتر الگو تأمین می‌کردند و حالت سطح، بسیار خوب بود، زیرا زبری آن تا۰٫۰۰۰۶ میلیمتر پایین می‌آید.

روش سایش با برق هنوز مثلاً در ماشین‌کاری ارزان قطعاتی از توربینهای گازی، که از کربیدسیلیسیم هستند، و رساناها به‌کار گرفته می‌شود؛ و نیز ازاین روش در ساخت دستگاههای تیزکنندهٔ تیغچه‌های ساخته‌شده از فلزسخت استفاده می‌شود، سنگ سنباده جای خود را به یک دیسک الکترود برنجی داده است که با لرزش خود، مدار را منظماً قطع‌ووصل می‌کند.

زمینهٔ کاربرد این روش، پیوسته افزایش می‌یابد و اینک دستگاههایی از آن فعال هستند که در یک زمان قطعات زیادی را فلزبرداری می‌کنند، از آن جمله یک دستگاه امریکایی را می‌توان نام برد که چهار پست‌کاری همزمان و هشت سوراخ روغنکاری به قطر ۱٫۸ اینچ دارد.

ماشین ـ ابزارهای فرا صوتی (اولتراسونیک) بسیار کمتر از ماشینهای پیشین رواج یافتند، زیرا تیغچهٔ آنها مناسب شکلی که می‌خواهند به قطعهٔ مورد عمل بدهند نیست. می‌توان نیمرخهای بسیار پیچیده‌ای را عرضه داشت. از این دستگاهها برای ساختن حدیده‌های مفتول‌کشی، ماتریسها، سنبه‌های ماتریسکاری و غیره می‌توان استفاده کرد.

روشهای جدید برقی اخیراً ساخت دستگاههای تازه‌ای را پایه گذارده‌اند. به همین دلیل در نمایشگاهی که بتازگی برپا شد، یک دستگاه سنگزنی الکترولیزی را نشان دادند که الکترولیت آن‌که از مرکز سنگ سنباده وارد می‌شد به‌توسط سوراخهای زیادی، که شعاعی ایجاد شده بودند، بر سطح بیرونی سنگ پخش می‌شد. این سنگ، هیچ دانهٔ ساینده‌ای ندارد و به دیسک فلزی ساده‌ای تبدیل می‌شود که می‌توان به‌آسانی شکل دلخواه را به آن داد و فرسایش آن عملاً قابل اغماض است.

وانگهی، خواص فوق‌العادهٔ لیزر (که حدود سال ۱۹۶۱ شناخته شده‌اند) اکنون در کار روی فلزات مورد استفاده هستند. درواقع، دیده شده است که آثار مکانیکی دسته‌ای از این اشعه می‌توانند در ورقهای فولادی سوراخهای کاملاً گرد با قطرهایی از دوصدم تا یکدهم میلیمتر ایجاد کنند (از چنین سوراخهایی در صنعت برای انژکتورهای مشعلهای ویژه و غیره استفاده می‌شود). رفته‌رفته، با این روش توانستند دستگاههایی برای برش بسازند که سرعت برش آنها برای فولاد زنگ‌ناپذیر با

ضخامت سه میلیمتر به یک متر در دقیقه و برای صفحات پلاستیکی به ضخامت سی میلیمتر به پنجاه متر در دقیقه رسید.

پیشرفت فرمان عددی: فرمان عددی ((Commande nume'rique (CN)) از زمان پیدایش بی‌سروصدایش در ۱۹۵۱ در اروپا با آهستگی در بسیاری از کشورها، جز ممالک متحدهٔ امریکا «کشوری که عقدهٔ برتر بودن دارد» رواج یافته است. گرچه در این کشور شمار ماشینهای (CN) در طی سالهای ۱۹۶۸ـ۱۹۷۳ دو برابر شده است، هنوز هم در سال ۱۹۷۹، فقط کمی بیش‌از ۱٪ ماشینهای ـ ابزار با این فرمان تجهیز شده‌اند. این وضع گویا ریشه در دشواریهای آموزش کارکنان این نوع فرمان و نیز بهای بالای آن دارد. برای فرمان پیوسته به دستگاه، یک ماشین حساب الکترونی لازم است و نیز کار آماده‌سازی نوار پانچ شده هم طولانی و هم گران است. مثلاً در ۱۹۶۳ بهای چنین دستگاهی حدود ۱۵۰۰۰۰ دلار، شش برابر دستگاه فرمان ناپیوسته بود، این امر بیان می‌کند که چرا دستگاه ناپیوسته در ۸۵٪ دستگاههای CN به‌کار گرفته شده‌اند. از سوی دیگر، تولیدهای بسیار متنوع، از این ماشینها استفاده نمی‌کنند، چون برعکس ماشینهای دیگر، زمانی سودآور هستند که برای تکثیر بسیار زیاد تنها چند نوع قطعه یا قطعات بسیار پیچیده از آنها استفاده شود. بنابراین، در صنعت اتومبیل‌سازی امریکا، گرچه تولید سال ۱۹۷۳ نسبت به ۱۹۶۸ چهار برابر شده بود، جز ۸۰۰ ماشین CN (برای یک پارک ۲۱۰۰۰۰ ماشین ـ ابزار) در آن وجود نداشت؛ و حال آنکه مجموع کارگاههای واسطه‌ای تعداد ۴۳۰۰ دستگاه از آن را به‌کار گرفته بودند و هواپیماسازان، بتنهایی، ۱۲۵۰ دستگاه از آن داشتند. اهمیت نسبی رقم اخیر، زمانی معلوم می‌شود که بدانیم که عدهٔ زیادی از آنها، قطعات را به‌صورت تودهٔ بی‌شکل می‌گیرند و با دقت فوق‌العاده‌ای ماشین‌کاری می‌کنند. هواپیمای کنکورد قطعات بسیار پیچیده‌ای دارد که طرح آن اتلاف زیاد مصالح را همراه دارد: یکی از آنها، آلیاژ خاصی از آلومینیم است به وزن ۴۳۰۰ گرم که تودهٔ بی‌شکل آن باید ۲۷۰ کیلوگرم باشد؛ قطعهٔ دیگری ۱۵۰۰ گرم وزن دارد که ۸۰ کیلوگرم وزن تودهٔ بی‌شکل آن است.

می‌توان انگیزهٔ تلاشهای سازندگان را برای رواج کاربرد دستگاههای دارای CN در کارگاههای کوچک و متوسط درک کرد. برای موفقیت در این راه، راه‌حل سادهٔ پایین آوردن قیمت خرید، کافی است (مثلاً بهای ماشین حسابهای مینیاتوری در فاصلهٔ دو سال ۱۹۷۱ـ۱۹۷۳ حدود ۸۰٪ پایین آمده است)، و برای رسیدن به این هدف، ماشین‌کاری جاری را برنامه‌ای کرده و متخصصانی پرورش داده‌اند. از مدتی پیش، با به‌کار گرفتن فرمان عددی توسط کاست مغناطیسی، این مرحله را هم پشت‌سر گذارده‌اند، و برنامه‌ای شدن، حتی در کارگاهها با آفیش کردن اطلاعات روی یک شستی

تحقق یافته است. این تحول را می‌توان با کمک گرفتن از دو نمونهٔ مشخص توضیح داد.

یک سازندهٔ دستگاه موازی تراش متوجه شد که می‌تواند به مشتری خود حق انتخاب از بین مدلهای گوناگون دارای امکانات و قیمتهای مختلف را بدهد: یکی از مدلها دارای خودکاری ساده، دیگری دارای چرخهٔ برنامه‌ریزی شده با فیشهای انتخاب وظایف گوناگون، مدل سوم همراه با راهنمای فرمان و سرانجام مدل آخر، شبه مدل پیشین اما با تعویض خودکار تیغچه ـ در یک جعبه ۱۵ تایی ـ بود که توسط فرمان عددی به‌ترتیب مختلفی فرا خوانده می‌شدند.

یک سازندهٔ دستگاه فرز، یکی از مدلهای خود را با فرمان عددی با کاست مغناطیسی مجهز کرده بود و هر کاست می‌توانست ۲۰۰۰ سکانس از ۴۰ کاراکتر داشته باشد. علاوه‌برآن، می‌توانست اطلاعات را به‌هنگام اجرای کار دستگاه روی نخستین قطعه، در دستگاه ثبت کند (این مطلب وجود روش تازه‌ای را به ما خاطرنشان می‌کند که امکان برنامه‌ای کردن، در حین حتی رسم قطعه در دفتر مطالعاتی را فراهم کرده است).

بدین‌ترتیب، دیده می‌شود که تلاشهایی که به «دموکراتیک کردن» فرمان عددی موفق شدند مختلف هستند، گرچه در صدد گسترش این مزایا به دستگاههای شکل‌دهی از قبیل پرسها و به ماشین اره‌ها، قیچیها و منگنه‌ها بودند. در مورد مثلاً دستگاههای منگنه‌کاری، فرمان عددی، کار علامتزنی اولیهٔ قطعات را بیهوده، و حذف شابلونها را ممکن می‌سازد. در مورد پرسهای خمکاری، باید گفت که گزینش قبلی و خودکار زوایای خمها وجود دارد، و غیره.

فرمان عددی به ساخت دستگاههای محکمتر در همهٔ قسمتها برای تحقق حرکات رضایتبخش، راه برد: مثلاً کارگیرها را با بلبرینگهای دارای ساچمه‌هایی قویتر مجهز ساختند. با استفاده از لغزنده‌های هیدروستاتیکی و هدایت قطعات با قرقره‌های تنظیم‌پذیر و بالاخره پیچ با گردش ساچمه‌ها، برای هرچه کمتر کردن ماند (اینرسی) قطعات متحرک و کاهش اتلاف انرژی درنتیجهٔ اصطکاک و نیز جابه‌جا کردن قطعات بدون لقی و بدون پسماند کوشش کردند. وگاهی از بدنه‌های دارای دیواره‌های مایل، برای تخلیهٔ سریع و آسان‌تراشه‌ها استفاده می‌کردند.

آنچه که گفته شد گواه خلاقیت آزمایشگاههای تحقیقاتی درکشورهای خواهان پیشرفت صنعت ماشین ـ ابزارهای خود، می‌باشد. کارهای آنان گسترده و گوناگون است و مثلاً روی اصطکاک و فرسایش، لرزشها، روغنکاری سطوح لغزنده، سروصدا، آزمایش دستگاهها، کُدگذاری آزمایشها و غیره تمرکز دارد.

در اروپا بررسی دربارهٔ سروصدا و لرزشها، بویژه درآلمان غربی، فرانسه، بریتانیای کبیر و شاید

درکشورهای شرقی انجام گرفته است. در ممالک متحده امریکا نیز از سالهای پیش، بنابر مقررات دولتی، که حداکثر سطح صدا درکارگاهها را ۹۰ دسیبل (dB) تعیین کرده است، این کار انجام می‌گیرد. سازندگان اتومبیل درپی آن هستند که ماشینهای جدید آنها به این سطح نزدیک نشوند. رقبای اروپایی از آنها تقلید می‌کنند، این کار حتی در کشورهایی که چنین مقرراتی هنوز وجود ندارند هم انجام می‌گیرد.

مبارزه با سروصدا به تحقیقات دشواری کشیده شده است که در بخشهای بهبود سیستمهای تغذیهٔ دستگاهها، موتورها و تلمبه‌ها، با سنگزنی دندانه‌های چرخدنده‌ها و غیره انجام می‌گیرند.

فلزات جدید تیغچه‌های جدید: در سالهای اخیر، در راه ایجاد و گسترش صنایع جدیدی تحقیق می‌شود که برای آنها فلزات و آلیاژهای جدیدی ساخته‌اند که مستلزم روشهای ماشینکاری و تیغچه‌های نوین می‌باشند: مثلاً صنعت هوانوردی و فضاپیمایی. در فهرست تیغچه‌های شناخته شده باید اکنون تیغچه‌های بسیار گوناگونی را افزود که در دست بررسی و آزمایشهای دقیقی هستند.

در سال ۱۹۷۲ در ممالک متحدهٔ امریکا، تیغچه‌هایی از آلیاژ فلزی (کولومبیوم، تیتان و تنگستن) برای تراش فولادهای آلیاژی ساخته شد. سختی آنها بسیار بیشتر ازکربیدهای تنگستن و حتی از تیغچه‌های سرامیکی است. آنها می‌توانند با سرعت برش ۳۰۰ تا ۵۵۰ متر در دقیقه (حتی ۷۰۰ متر هم گفته شده است) برای فولاد و با پیشرفت ۰٫۳ تا ۰٫۵ میلیمتر در هر دور، عمل کنند.

در سال پس از آن، یک آزمایشگاه اتحاد جماهیر شوروی [سابق] تیغچه‌ای را ساخت «که از مصالح سنتزی بود و ویژهٔ تراش فولادها و چدنهای آب‌داده و بسیار سخت». این تیغچه برپایه نیتریدبور ساخته شده بود و خواص مکانیکی خود را حتی تا آستانهٔ دمای ۱۰۰۰ درجه نیز حفظ می‌کرد، درحالی‌که حد دمایی ماشینکاری برای تیغچه‌های الماسی، ۶۰۰ درجه است. بدین‌ترتیب، از این ماده برای ساخت سنگ سنباده استفاده شد.

بازهم جلوتر بیاییم، در ممالک متحدهٔ امریکا ساخت دو مادهٔ جدید برندهٔ بسیار سخت شروع شده است. یکی از آنها از تیغچه‌های ساخته شده ازگرد الماس مصنوعی است که باکربورتنگستن به‌هم چسبانده شده است؛ دیگری از خرده‌های الماس است که درهم جوش شده و روی تیغچه‌هایی از بلورهای ساده گذاشته شده‌اند، که امتیازی جهت به‌کارگرفته شدن در شکلهای متناسب با کار مورد نظر است. ازسوی دیگر، آنها نمی‌توانند دقتی کمتر از حدود ۰٫۲۵ میلیمتر را تضمین کنند، درحالی‌که با الماسهای طبیعی، دقت پنج تا ده بار بیشتر تضمین شده است. این مواد بویژه مناسب

ماشینکاری سنباده‌ها یا مواد سخت، نظیر آلیاژهای آلومینیم با درصد زیاد سیلیسیم، پلاستیکهای تقویت شده با الیاف شیشه، شیشه، مواد سرامیکی و حتی کربیدهای در همجوش هستند، همچنین در سنگزنی سنگ سنباده‌ها بکار گرفته می‌شوند. در پایان باید از پیدایش نوعی کربیدتنگستن که در لفاف بسیار نازکی از اکسیدآلومینیم، که به حالت بخار در سطح آن نشسته است یاد کرد.

برای ماشینکاری فلزات بسیار سخت، تیغچه‌ها تنها مسألهٔ مورد تحقیق نبودند، یک آزمایشگاه در بریتانیا، روشی برای ماشینکاری گرم ابداع کرد که امکان می‌داد از تیغچه‌های سرامیکی استفاده شود. در این روش، کار گرم کردن رویهٔ ماشین‌شونده، که دربرابر تیغچه است با یک قوس پلاسما انجام می‌گیرد. این منبع گرمایی شدید و متمرکز، تنها آن بخش از فلز را گرم می‌کند که باید برداشته شود و با گرم شدن، سختی خود را از دست داده است. با این روش بسرعتهای پنج تا ده برابر بیشتر از تراشکاری فلز سرد دست یافته‌اند و فرسایش تیغچه در این سرعتها در حد قابل قبولی باقی می‌ماند.

دستگاههای شکل‌دهی: گرچه پیشرفتهای این دستگاه کمتر از «دستگاههای تراشه‌برداری» است، دستگاههای این گروه (که رده‌بندی رسمی، آنها را جزء دستگاههای برشی و دستگاههای منگنه می‌داند)، بویژه در راستای خودکار شدن اهمیتی یافتند زیرا « نه بخاطر خوشایند بودن، که در اثر نیاز خودکار شدند.» در کارخانه‌های اتومبیل‌سازی از چندین دههٔ پیش، در کارگاههای ساخت اطاق، که پرسهای سنبهٔ ماتریسکاری در آنها به‌طور زنجیری فعال بودند، کار روی ورقهای آهن و انتقال آنها از یک ماشین به ماشین بعدی، به‌طور خودکار انجام می‌گرفت. وانگهی خطوط منگنه‌کاری ـ قیچی پروفیلی مشتمل بر یک گروه ماشینها (منگنه و برش)، سکوهای بارزنی و تخلیه و یک گروه الکتروهیدرولیک که ابزارها را کنترل می‌کنند، همچنین دستگاههای منگنه‌کاری و برش که نبشیها را سوراخ و اندازه می‌کند، همگی از یک تابلوی الکتریکی طبق برنامه و به‌ترتیب، فرمان می‌گیرند. برای بریدن خودکار لوله‌ها، مجموعه (یا سکوهای) موجود با یک وسیلهٔ تغذیهٔ خودکار لوله‌ها و وسیلهٔ دیگری برای تخلیهٔ آنها با سلکتوری که بتواند لوله‌های بریده‌شده را برحسب طول آنها بیرون بکشد تجهیز شد. این مثالها از میان نمونه‌های گوناگون برگزیده شده‌اند.

کار روی ورق آهن، روشهای نوین ماشین‌کاری را پدید آورد.

کارهای شکل‌دهی با تخلیهٔ الکترومغناطیسی در نمایشگاه اروپایی ۱۹۶۳ به‌نمایش گذارده شد. این کار با دستگاهی انجام گرفت که به گفتهٔ سازندهٔ آن، برای «کشش، فشرده کردن، برش، مونتاژ فلزات دارای رسانایی خوب برق، به‌کمک نیروی مغناطیسی، بدون تماس مکانیکی با قطعه»

ساخته شده است. این ماشین می‌تواند در هر ساعت تعداد ۴۵۰ تخلیه را انجام دهد و لوله‌هایی از فولاد نرم یا آلومینیمی طبق ماتریسهای مورد نظر بسازد. امروزه این روش را شکل‌دهی مغناطیسی magne'toformage می‌نامند.

در کشورهای متعددی از سال ۱۹۶۰ امکان تعویض تخلیهٔ الکتریکی با ضربات انفجاری بررسی می‌شوند. مثلاً در بریتانیای کبیر، دستگاهی ساخته شده است که می‌تواند ورقهای آهنی با قطر ۱۲۰۰ میلیمتر را شکل دهد. این مجموعه در دوران کنونی، نتایجی در ردیف یک پرس با قیمت سی برابر بیشتر را دارد. این همان دستگاه شکل‌دهی با انفجار است که پشمالوها(= سربازان فرانسوی) زمان جنگ ۱۹۱۴-۱۹۱۸ از اصل این روش آگاه بودند و برای افزایش ظرفیت قمقمه‌های خود از آن استفاده می‌کردند!

همچنین باید از شکل‌دهی با انرژی هیدرولیک، گرچه کمتر معمول است، یاد کنیم.

اهمیت شکل‌دهی روزافزون است. پیشرفتهایی که تا به امروز شده است نه‌تنها در بخش کار روی ورقهای فلزی، لوله‌ها، پروفیلها و غیره است بلکه بخش پتک‌کاری را هم که جای خوبی را در برنامه‌های مراکز بررسیهای ویژه به خود اختصاص داده است در بر می‌گیرد.

مثلاً آلمان دارای یک «انستیتوی شکل‌دهی فلزات» وابسته به دانشگاه اشتوتگارت است که می‌تواند در ریشهٔ تحولی باشد که در این کشور، آن را در پتک‌کاری قطعات با خطای مجازکم و بدون پلیسه بیان می‌کنند، تحولی که مثلاً یک اتومبیل‌سازی را قادر می‌کند که به جای زنجیر ماشینکاری که شامل دستگاههای خودکار تراش با هشت کارگیر، دستگاههای تراش رولور و دستگاههای سوراخکاری از خارج است، تنها از یک پرس خودکار شکل‌دهی قطعهٔ گرم استفاده کند. هزینهٔ تولید ۶۰٪ کاهش می‌یابد، قطعات خام را دیگر نباید روی «دستگاههای تراشندهٔ» اندام‌سازی (خشن‌کاری) کرد.

ماشین ـ ابزارهای غول‌پیکر: واحدهای ماشین ـ ابزارهای تشکیل دهندهٔ یک خط زنجیر تولیدی، گاهی هم مهم، که در بالا تحول آنها را بررسی کردیم، وزن متوسطی، بندرت از چندین ده تن بیشتر داشته‌اند.

اما اکنون این صنایع که بسیار متعدد هستند و باید سرمایه‌های چشمگیری در خدمت ماشین ـ ابزارها و مجموعه‌هایی هزینه کنند تا از یکسوی از عهدهٔ پاسخگویی به افزایش تقاضاها برآیند و ازسوی دیگر بازدهی آنها را در زیر فشار رقابتهای داخلی و خارجی بیفزایند.

نمونه‌هایی از این امر در دست است و آنچه در زیر می‌آید تنها مختصری ازکارهایی است که

در همین سالهای اخیر شده است:

در یک کارخانهٔ اتومبیل‌سازی فرانسه، برای ساخت یک سر سیلندر آلومینیمی تک سیلندر جهت موتور دیزل، یک زنجیر تولیدی گذاشته شد. این زنجیر، که سراسر خودکار بود ۱۳۳ پست‌کاری، ۶۳ واحد ماشین‌کاری، ۲۷۲ تیغچهٔ فعال و ۱۷۰ الکترو موتور داشت. این زنجیر که می‌توانست در هر دقیقه هشت سر سیلندر بسازد ۲۰۰۰ مترمربع را اشغال کرده بود. هر دستگاه مجهز به‌وسایل بارزنی و تخلیهٔ خودکار بود. توان کلی مورد نظر ۶۳۰ کیلووات و وزن کل آن ۳۳۰ تن بود.

ـ در رشتهٔ سیدرورژی، افزایش بازدهی، که با وسایل جدید به‌دست آمده بود با ارقام زیر که از یک فولادسازی فرانسه گرفته شده است، نشان داده می‌شود:

برای تولید یک تن فولاد، در ۱۹۶۶، بیش‌از ۱۳ ساعت کار لازم بود؛ اما در ۱۹۷۳ هشت ساعت کار کفایت می‌کرد.

ـ در اتحاد جماهیر شوروی [سابق]، یک دستگاه نورد غول‌پیکر طرحریزی و ساخته شد؛ تولید آن در سال، شش‌میلیون تن ورق از فولاد معمولی یا آلیاژی، با ضخامت کمتر از دو میلیمتر بود.

نمونهٔ مشابهی را مجتمع سیدرورژی Fos با یک قطار نورد عرضه کرده است، که ظرفیت آن می‌تواند به هفت میلیون تن برسد. این مجتمع دستگاههای نورد گرم خود را در کارگاهی به طول ۵۳۵ متر جا داده است. قطار نوردهای ستبراشکن، قیچیهایی دارد که مهمترین آنها، نیرویی برابر ۱۵۰۰ تن وارد می‌آورد. اما قطار دستگاههای ساخت مفتول با قطرهای ۵/۵ تا ۳۵ میلیمتر، در هر ساعت ۲۰ تن تولید می‌کنند، و حداکثر سرعت آنها ۱۶۰ کیلومتر در ساعت است.

سانترالهای هسته‌ای شامل ظرفهای رآکتور است که چندین صد تن وزن دارند. برای ماشینکاری بعضی از آنها، که ارتفاع و قطرشان حدود یازده متر است یک ماشین‌ساز امریکایی یک دستگاه برقو ساخت که وزن آن از ۶۰۰ تن بیشتر است.

این سانترالها دارای گروه‌های توربو ـ آلترناتور با توان چشمگیری هستند. یکی از بزرگترین آنها در جهان (۱۲۵۰۰۰۰ کیلووات)، در پاریس برای ممالک متحده امریکا ساخته شد.

ـ چین اخیراً چهار دستگاه فرزکاری ـ برقوزنی ساخت فرانسه را با وزن کلی حدود ۷۰۰ تن نصب کرده است. روی هر دستگاه توان کارگیر به ۷۵ اسب بالغ می‌شود. حرکتهای طولی و عمودی به‌ترتیب ۱۰ و ۵ متر می‌باشند. در هر حرکت، میزان دقت، حدود ۰/۰۱ میلیمتر است.

در زمینهٔ شکل‌دهی به فلزات، در تکنیک پرسکاری قرار است یک کارخانهٔ فرانسه، برای شورویها بمنظور ماتریسکاری قطعات با اندازه‌های بزرگ و اشکال پیچیده، پرسی بسازد. این پرس که ارتفاع

آن ۳۴ متر (ارتفاع یک ساختمان ده طبقه) است ۶۵۰۰۰ تن نیرو اعمال می‌کند.

درکشتی‌سازی (کشتیهای غول‌پیکر نفتکش ۵۰۰۰۰۰ تنی) برای حرکت دادن قسمت یدک کشتی، به موتورهای نیرومند و توربینهای آن موتورها نیاز است.

همان‌طورکه دیده می‌شود، این ماشینهای غول‌پیکر، علاوه‌بر قدرت زیاد، دارای سرعت کافی و دقت بالا هستند.

دنیای صنعت بنوعی حرکت همواره پرشتابتر، روی آورده است.

بین اختراع دستگاه تراش مادزلی (۱۷۹۷) و فولاد خوش‌تراش، حدود یک سده فاصله است که در طی آن ماشین ـ ابزارها برای کارهای اولیهٔ تغییر دادن شکل فلز اختراع شدند. در این فاصلهٔ زمانی، جز دستگاههای ساده، آهسته کار و کم دقت چیز دیگری نبود.

مبارزه برای کاستن از هزینهٔ تولید نه‌تنها افزایش همیشگی کیفیت ماشین ـ ابزارهای نوین را درپی داشت، بلکه به کاهش زمان بی‌حاصل (زمان مرده) نیز متوجه بود و در این راه از خودکاری بسیار دقیق و وسیع بهره گرفت. به‌طور خلاصه، هدف این مبارزهٔ هر روزی، چیزی جز دستیابی به بازدهی بیشتر نیست ـ مبارزه‌ای که پایانش ناپیداست.

ماشین ـ ابزار، که مادر همهٔ ماشینهاست، یکی از عوامل اصلی تمدن صنعتی است. هر جا که فاقد آن است دست به‌گریبان فاقه است و این همانا دلیل آن است که کشورهایی هر روز بیشتر، از همه گوشه‌های جهان در ایجاد و گسترش صنعت خود می‌کوشند.

در پایان می‌توان گفت که امروز دیگر بر همه آشکار است که «رفاه هر ملتی وابسته به دستگاههای صنعتی آن ملت و توانایی آنها بر به‌کارگیری آن دستگاهها است».

۳

صنایع مکانیکی

در مجلد سوم دیدیم که چگونه رشته‌های جدید صنایع مکانیکی، زمانی‌که صنایع بنیادی همچون ماشینهای حرکت دهنده و نیز ماشین ـ ابزارها به‌بار نشستند، گسترش یافتند. این وضع بویژه در رشتهٔ ساخت چرخهای خیاطی، نخستین ماشین تحریرها و نیز آن عده از وسایل مکانیکی ماشین حساب ـ که در این مجلد، دیگر به آنها باز نخواهیم گشت، به‌چشم می‌خورد. رشته‌های دیگری نیز که ریشه در زمانهای دورتری دارند دستخوش تحول بسیار مهمی شدند، از قبیل وسایل چاپ که تأثیر عمیقی در تکمیل وسایل مکانیکی داشته است، و نیز در بعضی از تکنیکهای نوین، مثلاً عکسبرداری اصلاحاتی به‌عمل آمد، و سرانجام، پیدایش وسایل جابه‌جایی با حرکت دهندهٔ مکانیکی، که اساساً مدیون دستیابی آسان، در پایان سدهٔ نوزدهم، به موتورهای درونسوز، و بویژه موتورهای بنزینی است. می‌توان گفت که صنایعی که در اقتصاد نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم نقش مهمی دارند، صنایع اتومبیل‌سازی و فضانوردی، بر این مبانی پدید آمده‌اند.

کیفیت مصالح، گوناگونی موتورهای درونسوز و چند عامل تکنیکی دیگر، پشتوانهٔ رونق ساخت وسایل کشاورزی بوده‌اند که اهمیت اقتصادی آنها، علی‌رغم نظر مردم ساده، کمتر از وسایل حمل‌ونقل

نیست ـ گرچه با تأخیر زیاد به میدان آمدند.

سرانجام، بویژه پس از جنگ جهانی دوم، ساخت وسایل جابه‌جایی و بلند کردن کاملاً مکانیکی و موتوری بارها برای امور عامه و دستگاهها، بیشتر از گذشته بر فراورده‌های نوین تکیه داشتند. تحول رشتهٔ ساختهای مکانیکی، بازتاب مستقیمی در تغییر شکل یافت شهری و شبکهٔ راههای ارتباطی تقریباً همهٔ کشورهای جهان داشته است.

وسایل چاپ

در آغاز سدهٔ نوزدهم، سراسر ساختار وسایل چاپ، که گرچه هنوز هم کمی بی‌سروسامان است، به‌سوی دشواریهای مشخصی، که از یکسوی برخاسته از انقلاب مکانیکی و از سوی دیگر نتیجهٔ پیدایش فن عکاسی بودند پیش می‌رفت.

نخست، باید این کوششها را در دو زمینهٔ فنی مؤثر در کار چاپ، بررسی کنیم: حروفچینی مکانیکی و تحول پرسهای چاپ.

دستگاههای حروفچین

ماشینهای سطر ریز (لاینو تایپ): مشکل دستگاههای حروفچین، با پیدایش پرس بزرگ مطرح شد. ما در مجلد پیشین به این رشته، مختصری پرداخته‌ایم، و از دستگاههای حروفریز ـ حروفچین پایان سدهٔ نوزدهم، چه سطر ریز و چه حرف ریز سخن گفته‌ایم.

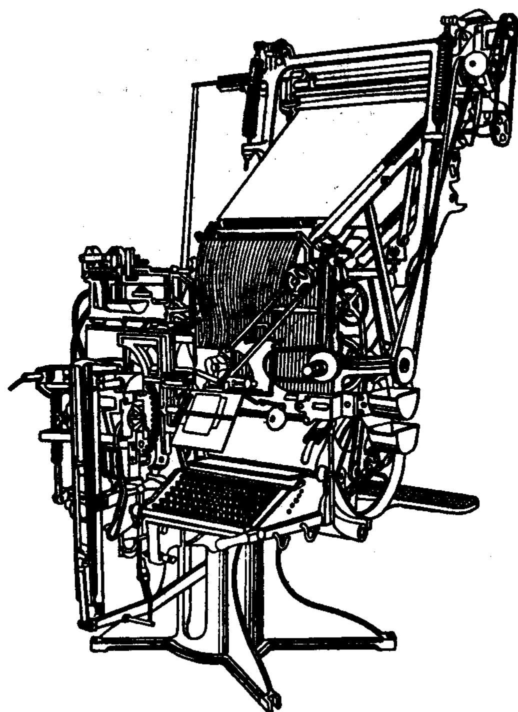
دیدیم که این سیستم اساساً از اندیشه‌های هرهان[1] مایه می‌گیرد که حروف کلاسیک را کنار گذاشت تنها از «قالبهای حروف که به‌طور مکانیکی جابه‌جا می‌شوند» استفاده کرد تا کار حروفچینی، «پیش از ذوب» انجام گیرد و نه پس از آن، که در حروفچینی کلاسیک است. بدین‌ترتیب، این دستگاههای حروفچین، «ماشین ذوب» هم شدند و با رواج خود «دستگاههای دو بخشی» را حذف کردند.

اما این سیستم در تئوری وجود داشت ولی طرح و ساخت مکانیسم آن آسان نبود.

آقای اوتمار مرگنتالر[2] در ۱۸۸۴ در امریکا نخستین دستگاه حروفریز ـ حروفچین را ساخت و آن را لاینوتایپ (سطر ریز) نامید زیرا یک سطر را با هم ذوب می‌کرد (شکل ۱۷).

برای این کار، مرگنتالر از ماتریسهای جابه‌جا شونده حروف و نشانه‌ها که در جعبه‌ای بودند، استفاده می‌کرد. با فشار دادن یک شستی، آنها پشت سرهم پایین می‌آمدند و در ردیفی دلخواه،

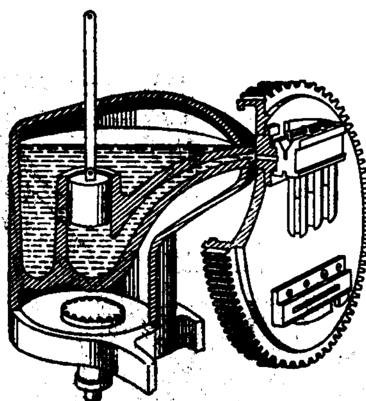
1. Herhan 2. Ottmar Mergenthaler



شکل ۱۷.ترسیمهٔ لاینو تایپ مرگنتالر (Mergenthaler) ۱۸۸۴.

بین دو خط برنج افقی، که با فاصلهٔ مورد نظر از یکدیگر جدا شده بودند ـ و می‌توان آنها را نوعی ورساد دانست ـ قرار می‌گرفتند. «فاصله‌های گوه‌ای شکل»، بتدریج بین کلمات گذاشته می‌شد تا سطر کامل شود. سپس، این مجموعه، که از دو طرف، مهار شده است دربرابر ظرف محتوی فلز مذاب برده می‌شود و در یک ضربه، تمام ماتریسها، از فلز مذاب پر می‌شوند (شکل ۱۸)؛بازویی، ماتریسها را از سطر ریخته‌گری شده برمی‌دارد و به مخزنهای بالای دستگاه منتقل می‌کند تا در آنجا با وسیله‌ای که در بالای هر ماتریس هست و برای هر ردیف از حروف یا نشانه‌ها شکل خاصی دارند، به‌طور خودکار توزیع شوند. این وسایل، در واقع کلیدهایی برای باز کردن محلهای ویژه ماتریسها هستند.(شکل ۱۹).

مزایای حروفچینی لاینو تایپ عبارتند از: سرعت، سهولت کار و نیاز به تنها یک نفر؛ اما معایب



شکل ۱۸.جزئیات قسمت ذوب‌کنندهٔ دستگاه لاینوتایپ.
ظرف سربسته‌ای که با مشعل گازی گرم می‌شود، محتوی فلزی است که باید ذوب شود، سمت چپ. تلمبه‌ای فلز را به درون ردیف متشکل از ماتریسها می‌فرستد؛ چرخ سمت راست، این ردیف را بدان محل انتقال داده است. گردش نیم‌دور این چرخ، قالب را که در قسمت پایین تصویر دیده می‌شود، به‌جای مورد نظر منتقل می‌سازد، تا ردیف تازه‌ای از ماتریسها را، در زمانی‌که ردیف پیشین خالی شده است، دریافت کند.

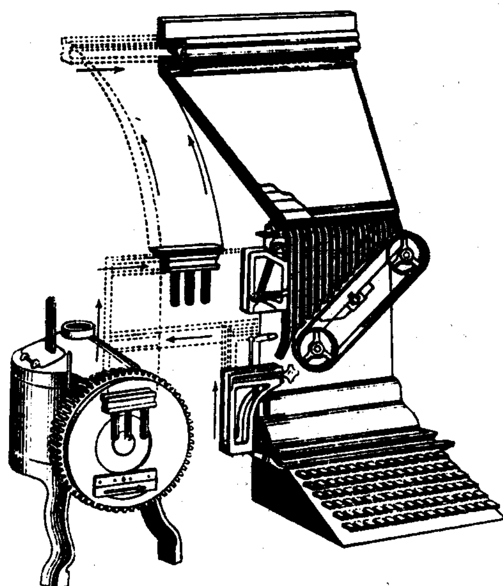
آن، تصحیح دشوار سطر ریخته شده در صورت اشتباه کردن مسؤول ماشین یا یک کپی خراب است، زیرا هر اشتباه ـ حتی افزایش یا حذف یک ویرگول، مستلزم از نوچیدن همهٔ سطر است، که باز هم احتمال خطا در آن منتفی شده نیست.

دو دستگاه دیگر، که طرح تقریباً مشابهی دارند، در سال ۱۹۱۳ وارد کار شدند: دستگاه اینترتایپ ابتکاری آقایان ریدر و اسکادر[1]، و دستگاه لاینوگراف.

در سال ۱۸۸۹ دستگاه سطر ریزی با اختلاف کمی از لاینو تایپ، به نام تایپو گراف، ساخت آقای جان راجرز کانادایی به بازار آمد. در این دستگاه از نوعی سبد استفاده شده بود که دورهٔ آن را ردیفهایی از ماتریس آویزان گرفته بودند که با زدن شستی، پایین می‌آمدند تا سطری را که باید ریخته‌گری شود تشکیل دهند. برای اینکه ماتریسها به‌جای نخست خود بازگردند، می‌بایست سبد، واژگونه گردد تا اینکه ماتریسها بر اثر وزنشان بتوانند جای اولیهٔ خود را از نو اشغال کنند.

دستگاههای حروفچین ـ حروفریز با حروف جداگانه: در سال ۱۸۸۷، آقای تالبرت لانستن[2]، که در امریکا وکیل دادگستری بود، اختراع دستگاهی را که حرفریزی می‌کرد و این حرفها به ترتیب

1. Ridder & Scudder 2. Tolbert Lanston

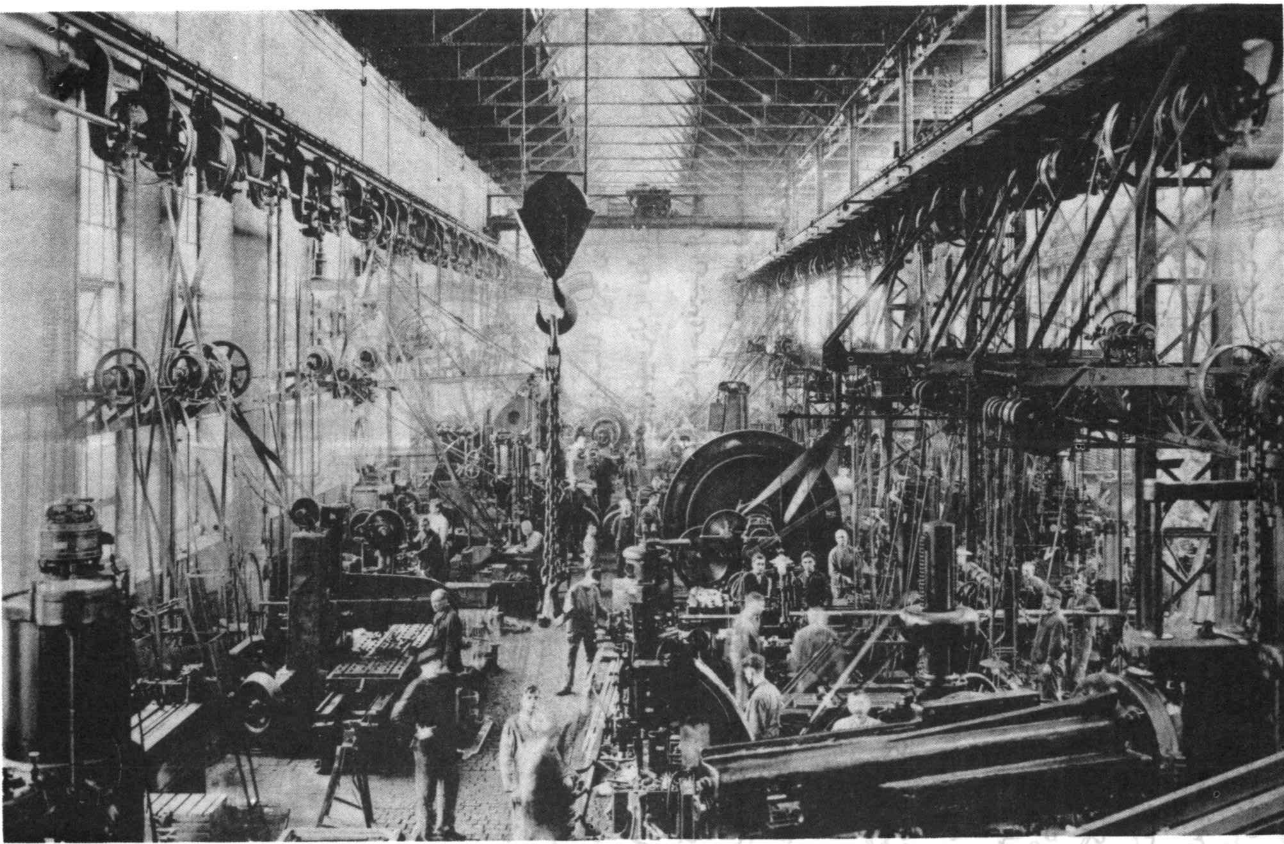


شکل ۱۹.جزئیات شستی و گردش ماتریسها در لاینو تایپ.
ضربه‌ای که به شستی وارد آید سبب می‌شود که ماتریسها به‌هنگام حروفچینی، از جعبهٔ بالایی ردیف، واقع در بالا و سمت چپ شستی ریخته شوند. آن‌گاه ردیف به بالای قالب دستگاه ذوب، منتقل می‌شود. پس از مونتاژ، سطر مذاب، ماتریسها، جدا و به بالای جعبه برده می‌شوند و در جاهای نخستین قرار می‌گیرند.

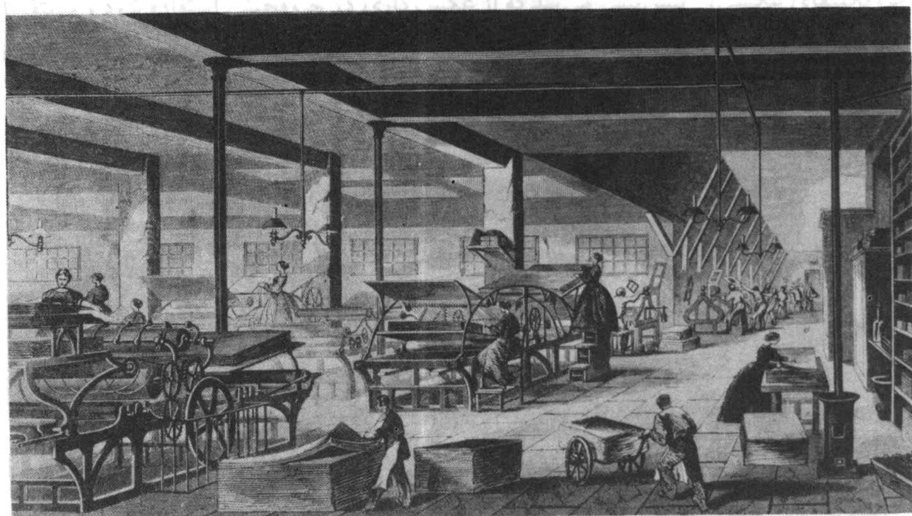
دلخواه در یک رانگا جمع می‌شدند، به نام خود به ثبت رسانید. روش وی چنان دشوار بود که با اینکه در سال ۱۸۹۲ آن را به بازار عرضه داشت، تا سال ۱۸۹۹ نتوانست مدل نهائی آن را بسازد و سرانجام، آن را در نمایشگاه سال ۱۹۰۰ در فرانسه به نمایش گذارد.

این دستگاه که با استفاده از نامی که هرهان به روش ماتریسهای متحرک خود داده بود مونو تایپ نامگذاری شد، دو بخش مجزا داشت (شکل ۲۰):

- صفحهٔ شستی که برای پانچ کردن یک نوار کاغذی متناسب با حروف مورد نظر بود: ترکیب دو پانچ که به تعداد ۳۱ عدد ردیف شده بودند امکان می‌داد بیش از ۲۰۰ ترکیب مجزا، متناسب با حروف و نشانه‌های لازم به‌دست آید. یک قرقرهٔ حساب، که با پیشرفت حروفچینی سطر، فضای باقیمانده‌ای را که باید پر شود نشان می‌دهد، زمانی‌که همهٔ حروف سطر در جای خود قرار گرفتند، «فاصلهٔ» تکمیلی که باید فضای بین واژه‌ها را پر کند، افزوده می‌شد تا سطر کاملاً پر شود، این



تابلوی ۹. یک کارگاه تراشکاری (۱۹۱۲).

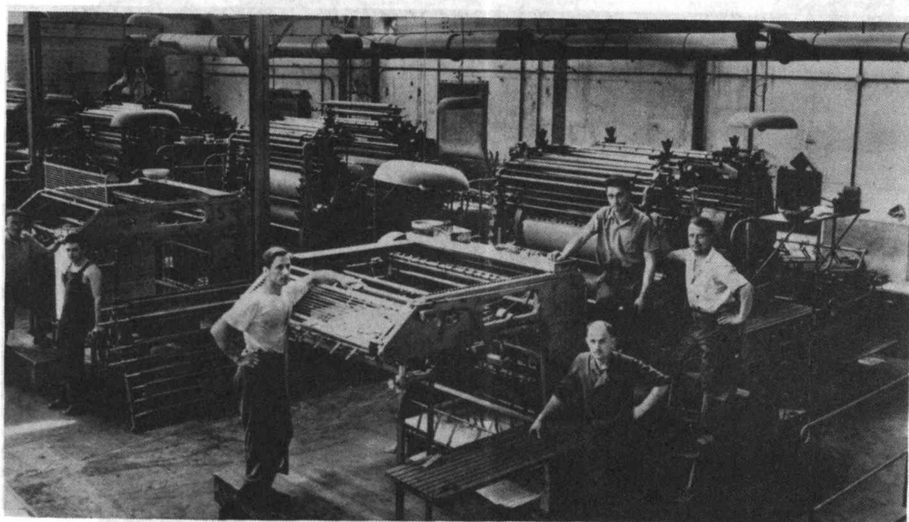


تابلوی ۱۰. یک چاپخانه (حدود ۱۸۶۰).

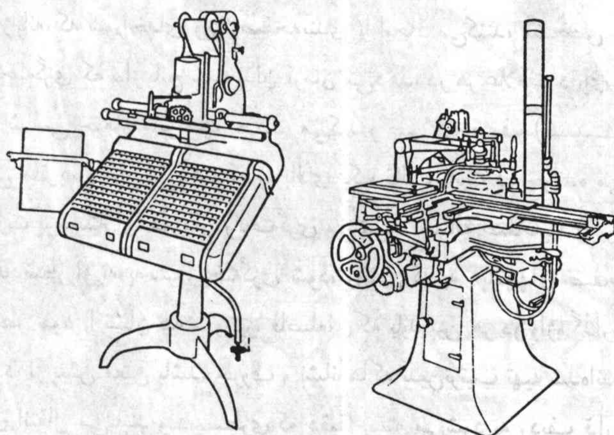
«فاصله» با دو زبانه، که سوراخهای ویژهٔ صفحه‌بندی را ایجاد می‌کنند، مشخص می‌شود.

ـ بخش ریخته‌گری، که نوار پانچ شده بدان فرمان می‌دهد، در هر علامت دارای دو سوراخ است که در دو جهت شاسی حامل ماتریسها حرکت می‌کند و صورت حروف (قسمت مرکّب خور) را در قسمت خالی ماتریس قرار می‌دهد، که به بالای یک قالب ثابت فرا خوانده می‌شود که در آن تنهٔ حرف و صورت برجستهٔ آن همزمان ریخته‌گری می‌شوند. مسألهٔ صفحه‌بندی بر این اساس حل شده است که هر سطر از ته به سر ریخته‌گری شود، روشی که به «پانچهای صفحه‌بندی» امکان می‌دهد تا در سطر خود را نشان دهند و نیز، فاصله‌ای که باید بین هر دو واژه گذارده شود تا اینکه خط کاملاً پر گردد، از پیش معین باشد. حروف و نشانه‌ها که بدین‌ترتیب تهیه شده‌اند به‌طور خودکار، به رانگای ورودی انتقال می‌یابند و در سطری که دقیقاً بسته می‌شود به ردیف قرار می‌گیرند.

مزایای این ماشین در سهولت تصحیح است که عین خبری که با دست زده شده است، انجام می‌گیرد، و نیز انعطاف‌پذیری فراوان کار چاپ با حروف مجزا را دارد، که برای عبور از مراحل دشوار



تابلوی ۱۰ مکرر. یک چاپخانه (حدود ۱۹۶۰).



شکل ۲۰.دستگاه مونو تایپ لانستن. سمت چپ: شستی؛ سمت راست: دستگاه حرفریزی.

چاپ، بهتر آماده می‌شوند. عیب بزرگ این دستگاهها، لزوم اشتغال بیش از یک کارگر برای هر واحد است: یک نفر متصدی شستیها و نفر دوم برای حروفریزی. کارگر دوم می‌تواند دو دستگاه حروفریزی را، که هر دو کاملاً خودکار هستند، اما نیاز به مراقبت دارند، اداره کند.

حروفچینهای عکسی: پیش‌بینی می‌شد که از عکسبرداری در حروفچینی استفاده شود و مستقیماً بدون جمع کردن حروف فلزی، فیلمی تهیه شود تا در لیتوگرافی، با روش سادهٔ برگردانیدن آن روی سنگ یا زینک به‌کار رود.

در سال ۱۸۹۶، نخست در بوداپست، سپس در انگلستان و در امریکا، علاقه‌مندی به امکان عکسبرداری از روی حروف یکی پس از دیگری، بمنظور تشکیل خطوط و صفحات شروع شد. شرکت «اینتر تایپ»، دستگاه **Fotosetter** را ساخت که از نظر شکل، به دستگاه کلاسیکی سطر ریزی با فلز بسیار شبیه بود، و شرکت «مونو تایپ» با دستگاه Monophoto خود تعداد زیادی از آن را ساخته بود.

اما در سالهای ۱۹۴۵_۱۹۴۶ دو مهندس ساکن لیون، آقایان موارو[1] و ایگونه[2] نخست در لیون و سپس در اطراف پاریس، ساخت دستگاه کاملاً نوینی به نام Lumitype را شروع کردند؛ این دستگاه که در ۱۹۵۱ در امریکا فعال بود توانست یک کتاب تحت عنوان Wonderful World of insects را چاپ کند کاری که سابقه نداشت.

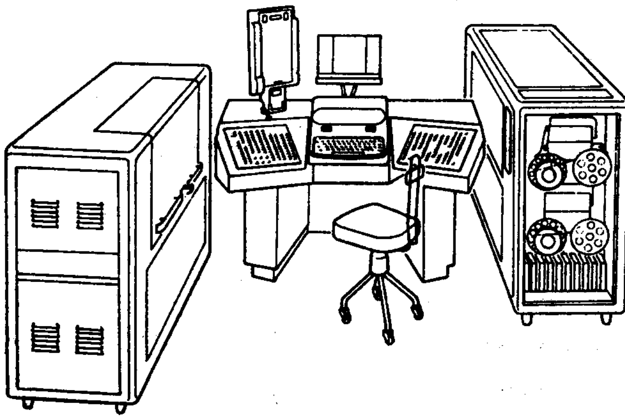
این دستگاه، که در زمانی‌که الکترونیک پدید آمده بود، بسیار تکمیل شد، عملاً از سه قسمت تشکیل می‌شود (شکل ۲۱):

- قسمت شستی- که حافظه که حروف یا نشانه‌هایی را که زده می‌شدند و ضخامت مربوط به آنها را روی نواری ثبت می‌کند؛
- قسمت محاسبه که هر سطر را دقیقاً در جای معین خود می‌بندد؛
- قسمت عکسبرداری که اشکال حروف را به توسط یک دیسک ـ ماتریس که ۱۴۴۰ علامت گوناگون دارد، ثبت می‌کند (شکل ۲۲).

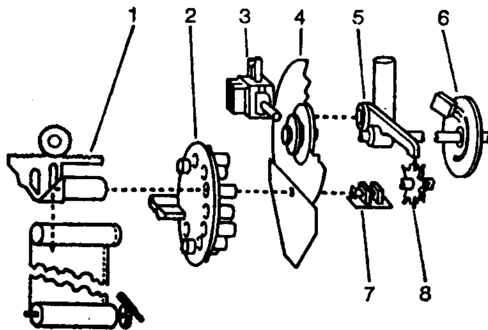
به توسط سلول یک دستگاه رمزخوان که روی نوار نوشته کار می‌کند، نوری بر نوشته می‌تابد تا تصویر هر حرف از طریق عدسیهای جسمی، که بزرگی مورد نظر را به آن می‌دهند، به فیلمی منتقل شود و مجموعهٔ آنها به‌شکل سطور صفحه، ثبت گردند؛ و نیز می‌تواند مستقیماً با روش اُفست به‌کار گرفته شود.

از زمان پیدایش لومیتایپ، حروفچینهای عکسی دیگری نیز پدید آمدند. رشتهٔ الکترونیک،

1. Moyroud 2. Higonnet



شکل ۲۱.تجهیزات لومی تایپ Lumitype55o با شستی کامل.
سمت راست. کامپیوتر؛ وسط: قسمث شستی؛ سمت چپ: قسمت عکسبرداری.



شکل ۲۲.واحد عکسبرداری لومی تایپ.
۱.مجموعهٔ منشور و عدسی متحرکی که متن را می‌خواند؛ ۲. برجک دارای عدسیهای جسمی؛ ۳. فوتو سلول؛ ۴. دیسک حامل ماتریسها؛ ۵. لامپ تحریک کننده؛ ۶. رمزخوان؛ ۷. لامپ روشنایی؛ ۸. بادامک گزینندهٔ خروجیها.

همان‌طورکه گفته‌ایم، بر این تکنیک مسلط شد و در نتیجه عملاً ماشین ـ تستهایی وجود دارند که می‌توانند حدود دو میلیون حرف در ساعت تولید کنند، اما آنهایی که معمولاً به بازار فرستاده می‌شوند، که باید بهایی در محدودهٔ استطاعت مشتریان داشته باشند، با سرعت ۵۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ حرف در ساعت فعالیت دارند.

پرسهای چاپ

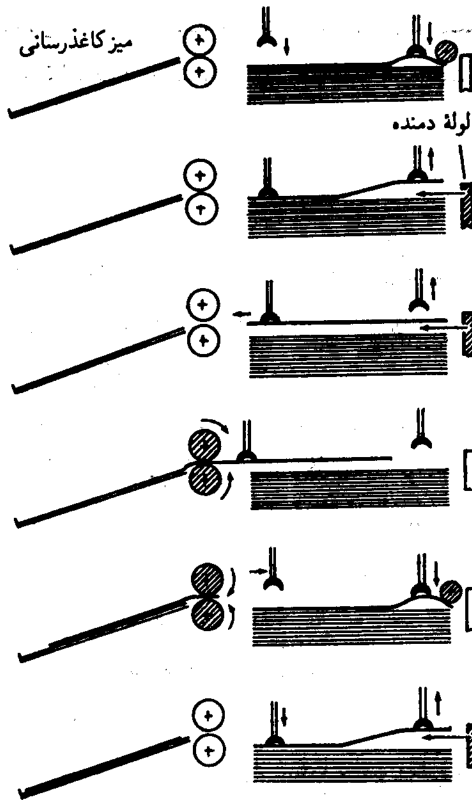
با آغاز سدهٔ نوزدهم، دستگاههای چاپ با سرعت سرگیجه‌آوری گسترش یافتند ـ گسترشی که در هر سه نوع چاپ دیده می‌شود. شرح تفصیلی آنها در اینجا موردی ندارد ما به‌طور ساده، مشخصات دستگاههای اساسی را باز می‌نماییم.

از اصلاحاتی که طی سالیان نخست این سده عملی شد یکی این بود که نیروی محرکه به توسط یک الکتروموتور تکی تأمین می‌شد، و نه مانند گذشته، به توسط دستگاههای سنگین مرکزی، که در آغاز با بخار، بعد برقی شد و استفاده از تسمه نقاله لازم و بنابراین اتلاف نیرو زیاد بود؛ وانگهی، هرگونه خرابی موتور یا تسمه نقاله سبب تعطیل همهٔ کارگاه می‌شد، درحالی‌که خراب شدن موتور تکی، تنها یک دستگاه را می‌خوابانید.

کاغذرسانهای خودکار: نخست توجه دهیم که در همهٔ روشهای چاپ، ماشینی شدن فوراً در قسمت حذف لزوم وجود یک کارگر جوان برای رساندن کاغذ به ماشین، کامل شد. سیستمی برای کاغذرسانی خودکار ماشینها، طراحی شد تا آنها، تنها با مراقبت کلی و بدون دخالت دست انسان کار کنند. در کاغذرسانی خودکار، همزمان از مکش و دمش استفاده می‌شد. مکنده‌ها مسلط بر همهٔ عرض ماشین، هر ورق کاغذ را می‌مکیدند و در همان حال یک دمنده آن را از ورقهای بعدی جدا می‌ساخت. قرقره‌ها و طنابهایی، ورق را در طول میز تا انبرکهای غلتک چاپ انتقال می‌دادند (شکل ۲۳).

مادر زیر تحول روشهای چاپکاری را در هر یک از انواع چاپ بررسی می‌کنیم و سخن را با تیپوگرافی که فعلاً تکنیک طبیعی تولید کتاب، بویژه کتابهای با چاپ عالی است، آغاز می‌کنیم.

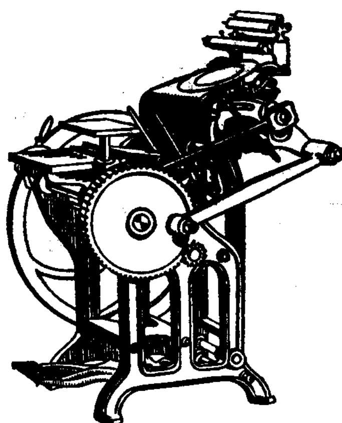
پرسهای با صفحهٔ فشار: ما دیدیم که تا پیدایش غلتکهای ضربه‌ای کونیگ و باوئر، پرسهای تیپوگرافی برای چاپ کردن، از صفحهٔ فشار استفاده می‌کردند، صفحه‌ای که با یک «ضربه» همهٔ فرم را چاپ می‌کرد. این روش ویژهٔ پرسهای قطع کوچک بود که هنوز هم برپایهٔ اصول پیشین کار می‌کنند.



شکل ۲۳.مراحل پیاپی کار یک کاغذ رسان خودکار.

نخستین پرسهای کوچک را «پدال» می‌نامیدند زیرا با فشار پا ضربه می‌زد (شکل ۲۴).یکی از معروفترین این پرسها «مینرو»[1] ساخت برتیه[2] در سال ۱۸۶۹ است که حتی پس از جنگ ۱۹۱۴ هم در تعدادی از چاپخانه‌ها کار می‌کرد. آلمانیها بویژه، حدود ۱۹۰۰ و امریکاییها هم به‌دنبال آنها، دست به ساخت صفحات فشار «پلاتین» سنگین زدند که با موتور کار می‌کرد: دستگاههای ویکتوریا، فونیکس[3]. کمی بعد آقای هایدلبرگ، ماشینهای اوفمی[4] را ساخت که حتی فشار روی پدالها به‌نحو مکانیکی انجام می‌گرفت.

1. Minerve 2. Berthier 3. Phoenix 4. Offmi



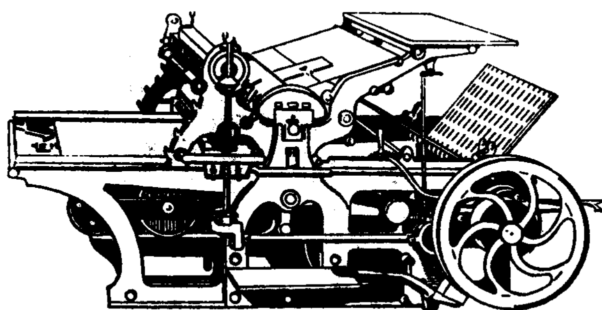
شکل ۲۴.پرس پدالی *Utile* ، ساخت ایپولیت مارینونی.

پرس با توقف غلتک: در پهنهٔ دستگاههای دارای غلتک ضربه‌زن، که آقایان کونیگ و باائوئر آن را افتتاح کردند، اصل نخستین پرسهای مکانیکی حفظ شده بود. غلتک حامل ورق کاغذ، در هر گردش دستگاه، متوقف می‌شد تا ورق دیگری دریافت کند و آن را تا فرم هدایت می‌کرد. فرم به توسط چهار چرخهٔ متحرکی که در زیر غلتک می‌گردید از یک سر ماشین به‌سر دیگر آن آمد و رفت داشت. سیستمی از میلهٔ دنده‌دار، حرکات گوناگون غلتک ضربه‌زن، چهار چرخهٔ حامل فرم و غلتک مرکّبمال را همزمان می‌ساخت؛ در نتیجه ضربهٔ غلتک، سبک و ادامهٔ چاپ هر دو طرف ورق، ممکن می‌شد (شکل ۲۵).

اما ورق کاغذ، در انتهای دستگاه باید برمی‌گشت تا طرف چاپ شده پیوسته زیر نظر باشد: نخستین پرسها برای برگردانیدن ورق از نوعی راکت چوبی که حول محوری می‌گردید استفاده می‌کردند؛ اما اکنون وسایل گوناگون دیگری بویژه استوانه‌هایی برای برگردانیدن ورق به‌کار گرفته می‌شوند.

گفتن این حقیقت، که چاپ کنونی به‌طور پیگیری به‌دنبال سرعت زیاد کار خود است، کسی را به شگفتی و اعجاب در نمی‌آورد. اما نخستین مانع، لااقل برای پرسهای تیپوگرافی مسطح، این است که این سرعتهای بالا، اساساً با یک چاپ صحیح، ناسازگار می‌باشند و نتیجهٔ کار آنها، نوعی «چاپ درهم» یا کمی بی‌قاعده است.

بنابراین، با استفاده از بازی «بادامکها» توانستند در جریان آمدورفتهای چهارچرخهٔ حامل فرم



شکل ۲۵.پرس با توقف غلتک *Diana*، ساخت ژول و وارن (۱۹۱۴).

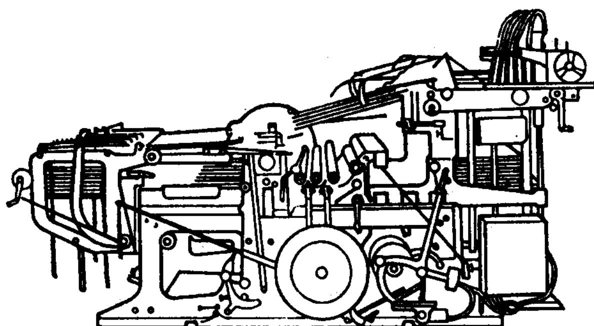
بسرعتهای مختلفی دست یابند. بدین‌ترتیب که فرم می‌توانست با کندی به زیر غلتک چاپ برود، اما برای برگشت به نقطهٔ اولیه، شتاب گیرد با این روش کار، بدون خراب شدن کیفیت چاپ، توانستند بسرعتهای حدود ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ نسخه در ساعت دست یابند.

مشکل دیگری که از آغاز کاربرد موتورهای برقی در امر مطبوعات مطرح شد، «برق ساکن» است که زمانی‌که پدید می‌آید حرکت طبیعی ورقها در مدار ماشین را به‌هم می‌زند، بدون اینکه هرگز بتوانند برای این مشکل مزاحم، که علل گوناگونی دارد، راه‌حل ایده‌آلی بیابند. اکنون بدین نتیجه رسیده‌اند که از یک «لامپ یونش» استفاده کنند که مدارهای ماشین را از این برق خالی می‌کند.

پرس دو گردشی: برای پرهیز از عیب برگشت ورق، که برای پرس با توقف غلتک لازم است، و نیز تأمین حرکت پیوستهٔ غلتک چاپ، ماشینهایی با طرحهای گوناگون ساخته شد. غلتک حامل ورق که پیوسته می‌گردد در هر دو گردش، یک بار چاپ می‌کند و بدین جهت آن را: دور دوم، غلتک بلند شده، خالی کنندهٔ ورق چاپ شده نامیده‌اند که ورق با یک دور کامل زدن روی خود، به‌جای نخست برمی‌گردد و در این‌حال، طرف چاپ شده را برای وارسی نشان می‌دهد، تا از واگشتن غلتک پرهیز شود (شکل ۲۶).

بی‌شبهه، کار چاپ در هر دو گردش، یک بار انجام می‌گیرد، اما غلتک نه توقفی دارد و نه آغاز حرکت تندی، و با سرعتی بسیار زیاد می‌تواند بگردد و با این حال، بسیار سبک ساخته شده است.

اما یک مشکل اساسی که از پیش باید رفع می‌شد این بود که: چگونه می‌توان در انبرکهای غلتک پیوسته متحرک، ورق بی‌حرکت را وارد کرد؟ برای این کار، در بالای سینی (= تخته) ورقها، نخستین ردیف انبرکهای متحرک گذاشته شد تا سرعت کافی برای گرفته شدن در حالت عبور،



شکل ۲۶.پرس دوگردشی

بوسیلهٔ انبرکهای غلتک ضربه زن را به ورق بدهد.

دشواریهایی که برای پرس با توقف غلتک وجود داشت، در پرس دوگردشی نیز خود را نشان دادند و همان راه‌حلها به‌کار گرفته شدند: برای برق ساکن لامپ یونش و برای سرعت بخشیدن به‌کار، چاپ آهستهٔ فرم با واگشت پر شتاب سنگ مرمر حامل آن. با این پرسها، براساس نحوهٔ کارشان، بسرعتهایی در حدود ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ نسخه در ساعت دست یافتند.

پرسهای دوگردشی، معمولاً از یک «ورقرسان سفره‌ای» استفاده می‌کردند که ورقهای کاغذ را یکی پس از دیگری تا انبرکهای غلتک آهسته سرمی‌داد؛ تا با حرکت منظمی به پیش روند و از سقوط بسیار سریع ورق، که گاهی موجب قرارگرفتن نادرست ورق و نشان گذاری غلط آن است، جلوگیری شود.

از چنین دستگاهی همچنین می‌توان انواع گوناگونی «مقوا» با ضخامتهای متفاوت ـ تا ۰٫۷ میلیمتر ـ برای ساخت کاغذهای بسته‌بندی مورد نیاز صنایع گوناگون، چاپ کرد.

اما کاملاً روشن است که پرسهای چاپ مسطح نمی‌توانند دارای سرعت بیش از سرعت دستگاههای روتاتیو باشند آنها همواره در چاپ تیپوگرافی جای مهمی خواهند داشت، زیرا در مقایسه با پرسهای روتاتیو، دارای انعطاف‌پذیری بسیار زیاد کاری و امکانات گوناگونی هستند: امکان تصحیح و حتی تغییر نوشته‌ها یا کلیشه‌ها در حین چاپ، که امتیاز بسیار پرارزشی برای چاپ با تعداد کم است و ارزش هزینهٔ بسیار زیاد چاپ روتاتیو را ندارد. بدین علت است که در چاپ نسخه‌های معدود، پرسهای مسطح، ضروری مانده‌اند.

پرسهای روتاتیو ورقی: در مجلد پیشین این مجموعه دیدیم که پیدایش پرس تناوبی، سازندگان دستگاهها را ناچار به استفاده از چاپ روتاتیو، یعنی غلتک دارای حروف چاپی و کاغذ رول برای دستیابی بسرعتی بیش از چاپ روی ورقها، کرد.

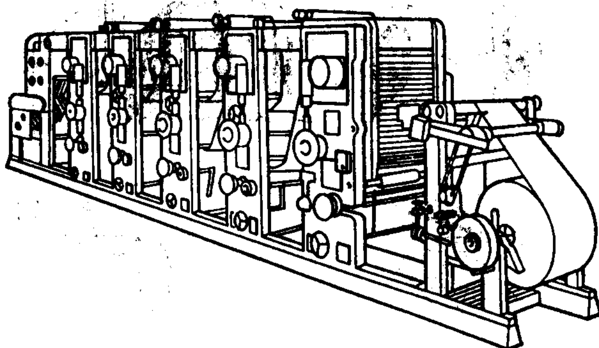
با این‌همه، در امریکا، که چاپ کتابها معمولاً مهمتر هستند، روتاتیوهایی با سرعت زیاد، اما با ورق، ساخته شدند که از دو سینی کاغذ رسانی جنب یکدیگر تغذیه می‌شدند و بدین‌ترتیب، پنج یا شش هزار ورق در ساعت چاپ می‌شد. مؤسسه کونیگ و باائر در آلمان این روتاتیوها را با غلتک دوگردشی ترکیب کرد و گاهی غلتک دوم چاپ را به آنها می‌افزود تا رنگ دیگری هم چاپ شود.

با پیدایش کائوچو در تکنیکهای فوتوگراوور و اختراع مواد پلاستیکی، از «صفحات خمش‌پذیر» ی استفاده شد که با روشهای گوناگونی ساخته می‌شدند. این صفحات را، پس از اینکه، با قالبگیری شکل اولیه را به خود می‌گرفتند روی کفیهای نرمی سوار می‌کردند؛ کفیها را با سیستم ویژه‌ای که دقت زیاد داشت و نشان گذاری رنگهای چاپ رنگی را ممکن می‌ساخت روی غلتک حامل صفحهٔ چاپ کننده نصب می‌کردند. صفحات چاپ کننده‌ای که فعلاً رواج زیادی دارند از دایکریل Dycril تهیه می‌شوند که بسپار (پولیمر) ی است که مؤسسه دوپون دونمور آن را ساخته است.

این روشهای تیپوگرافی روتاتیو می‌توانند در هر ساعت ۷ تا ۸ هزار نسخه را، حتی در صورت نیاز، دو رنگ و در یکطرف کاغذ، به چاپ رسانند. این ارقام دقیقاً به‌حد نصابی مربوط می‌شود که با چاپ افست (گود) به‌دست آمده است؛ اما امتیازات پرسهای تیپوگرافی واقعی هستند. در حقیقت همهٔ دشواریهای پیچیدهٔ ذاتی چاپ افست ـ دشواری مرطوب کردن، کج‌ومعوج شدن کاغذ، تغییر رنگها، و نیز ناگزیر بودن استفاده از همهٔ سطح غلتک حامل صفحهٔ چاپ کننده ـ دیگر مطرح نیستند.

پرسهای روتاتیو با کاغذ رول: پرسهای روتاتیو بزرگ با کاغذ رول برای چاپ روزنامه‌ها، در سدهٔ بیستم به‌طور سرگیجه‌آوری رواج یافتند. تعداد روزافزون نشریات روزانه، سازندگان را ناگزیر به ساخت، ماشینهای غول‌پیکر دارای چندین ردیف غلتکهای چاپ کرد. برای اینکه رولهای کاغذ، جای زیادی از کارگاه را نگیرند، آنها را اکثر در زیرزمین می‌گذاشتند و نوار کاغذ در زیر هر ماشین چاپ باز می‌شد. در انتهای ماشین، دستگاههای تازنی و شمارنده، کار چاپ را به‌طور خودکار به پایان می‌رسانند و روزنامه‌ها که با تعداد معینی بسته‌بندی شده‌اند به سالن توزیع رانده می‌شوند.

این دستگاههای روتاتیو همچنین می‌توانند در یک گردش پرس، چند رنگ چاپ کنند. برای این کار، تنها کافی است که شمارهٔ «گروه چاپ کننده» در اختیار باشد و رول کاغذ که ازگروهی به



شکل ۲۷.پرس هلیوگراوور روتاتیو با کاغذ رول.

گروه دیگر انتقال می‌یابد رنگ مورد نظر را دریافت می‌دارد (شکل ۲۷).

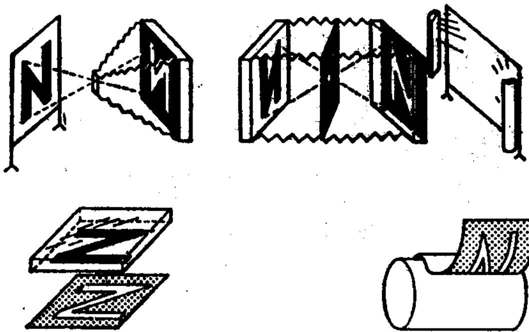
دستگاههای روتاتیو کاغذ رولی، در جاهای دیگری نیز به‌کار گرفته می‌شوند. آنها به‌طورکلی تفاوت چندانی با پرسهای کلاسیک ندارند و چند طبقه هستند. طبقهٔ پایین جایگاه رولهای کاغذ است که به‌طور منظم باز می‌شوند و طبقهٔ بالا حامل گروههای مختلف چاپ است که غلتکهای فشار در ارتباط با غلتکهای حامل صفحهٔ چاپ در آنجا گذارده شده‌اند. آنها می‌توانند در هر ساعت ۷۰۰۰۰ نسخه روزنامه را چاپ کنند.

همچنین می‌توان از پرسهایی سخن گفت که هر رویه کاغذ را چهار رنگ چاپ می‌کنند، و دستگاههایی را پیش‌بینی کرد که تا دوازده گروه چاپی و سه ماشین تازن داشته باشند.

کارخانه‌های مهم سازندهٔ دستگاههای روتاتیو فعلی، در امریکا، آلمان انگلستان، فرانسه و سویس هستند.

چاپ روتاتیو برای انواع چاپهای دیگر: در تیپوگرافی، چاپ روتاتیو، لااقل در اروپای غربی، جز در چاپخانه‌های روزنامه‌ها، جای مهمی نداشته و هنوز هم ندارد. این روش، در دو نوع دیگر چاپ با استقبال زیادی روبه‌رو شد زیرا با نیازهای آنها کاملاً سازگار بود. ما همیشه گفته‌ایم که این نوع چاپ، ویژهٔ چاپ تصویر است و نیز انتقال تصویر با آن، آسان انجام می‌گیرد، چه به توسط یک غلتک و چه بر یک صفحهٔ فلزی نرم، که بتوان به آن شکل استوانه را داد.

بی‌شبهه، اکنون که با روش حروفچینی نوری (Photocomposition) می‌توان متن را بر صفحهٔ افست انتقال داد، وضع کمی فرق کرده است؛ اما ما پیش‌بینی می‌کنیم که تیپوگرافی، به



شکل ۲۸.نمایهٔ عملیات عکسبرداری در هلیوگراوور.
در بالا: گرفتن یک نگاتیف و تبدیل آن به پوزیتیف
در پایین: کپی کردن پوزیتیف روی یک کاغذ و گذاردن آن روی غلتک برای چاپ. کپی کردن ترام هم به این عملیات افزوده می‌شود.

دلیل تعداد چشمگیر آثاری که هر سال انتشار می‌یابند و نیز اینکه مناسب چاپ تنها تعداد محدودی نسخه است، تا مدتها، به‌عنوان ارزانترین و طبیعیترین روش چاپ کتاب باقی بماند.

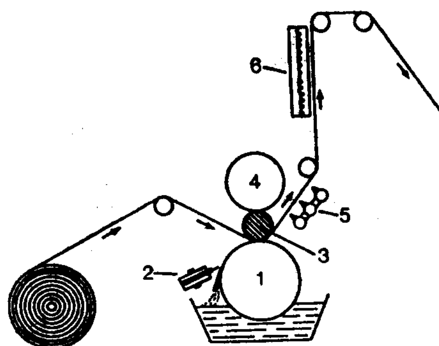
چاپ گود

هلیوگراوور: آقای لارتنس[1] از فرایبورک‌ایم برایسگاو[2] در سال ۱۹۱۰ شماره‌ای از Freiburger Zeitung را انتشار داد که تصاویر آن به توسط یک دستگاه روتاتیو با سرعت زیاد روی کاغذ روزنامه چاپ شده بودند؛ غلتکهای فشار این دستگاه با دست کنده‌کاری شده بودند. اما آقای کارل کلیچ[3] کمی بعد، برای کنده‌کاری غلتکها، از کاغذهای عکاسی آغشته به بیکرومات در زیر نور آفتاب و سپس اثر دادن پرکلریدآهن روی آنها استفاده کرد.

برای چاپ عکسها، غلتک پرس دارای مرکبدانی بود که به‌هنگام گردش با آن آغشته می‌شد و کاردکی فولادی که در بالای مرکبدان بود مرکّب اضافی سطح را پاک می‌کرد و مرکّب تنها در قسمتهای گود باقی می‌ماند (شکل ۲۸).

روتاتیوهای کنونی هلیوگراوور روی ورق: این غلتکها چندین بخش دارند که هر یک می‌توانند رنگی را چاپ کنند. نشان کردن این رنگهای مختلف به توسط لبهٔ دقیق ورق در هر عبور تأمین

1. Lartens 2. Freiburg im Breisgau 3. K. Klistch



شکل ۲۹.چاپ هلیوگراوور با ماشین روتاتیو رولی.
۱.غلتک نقشدار؛ ۲. حامل کاردک ۳. غلتک میانی؛ ۴. غلتک مورد فشار غلتک میانی؛ ۵. سیستم دمنده ـ خشک کننده؛ ۶. دستگاه گرم کننده.

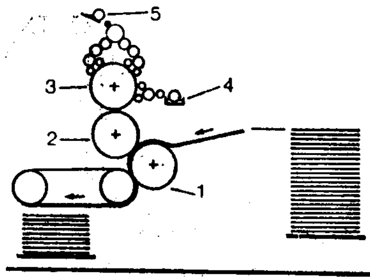
شده است ـ روشی که تصحیح محل ورق را در صورت نیاز ممکن می‌سازد. می‌توان حتی در چاپ کردن چهار رنگی در انتظار سرعتهایی در ردیف ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ نسخه در ساعت بود.

روتاتیوهای هلیوگراوور ستونی: سرعتهای زیادی که فعلاً لازم داریم تا اینکه این پرسها به نیازهای ما پاسخ دهند ما را به استفاده از دمهای با هوای گرم ناگزیر می‌سازد تا نوار چاپی بسرعت خشک شود (شکل ۲۹).وانگهی سیستم مرکّب پاک‌کنی، که در قاعدهٔ این روش است، از یک کارد و کاردکهای کوچک بعدی تشکیل شده است.

این دستگاههای روتاتیو می‌توانند گروههای متعدد چاپی را به‌کار گیرند و ماشینهای تازن، که کار تولید روزنامه را به پایان می‌رسانند با آنها انطباق داده شده‌اند.

چاپ مسطح

فوتولیتوگرافی روتاتیو: بی‌شبهه در لیتوگرافی، انتقال نقش چاپ سنگی به صفحه‌ای از روی نرم، کاربرد پرس روتاتیو را آسان می‌کرد، زیرا این ورق می‌توانست دور یک غلتک فشار به‌پیچد. ازاین رو از یکطرف دستگاه **Diligente** آقای ایپولیت مارینونی ساخته شد و از سوی دیگر دستگاه **Rotome'tal** آقای ژول و وارن که هر دو دستگاه با دو غلتک چاپ می‌کردند که یکی حامل صفحهٔ چاپ کنندهٔ روی با سیستمهای نمزنی و مرکّبمالی بود و دیگری، حامل ورق کاغذ.



شکل ۳۰.پرس روتاتیو سه غلتکی افست.
سمت راست: بندهای کاغذهایی که باید چاپ شوند روی سینی ورقرسان قرار دارند. ۱. غلتک ورقگیر؛ ۲. غلتک دارای روکش کائوچو؛ ۳. غلتک حامل صفحهٔ چاپ شونده ۴. ابزار نمرنی؛ ۵. مرکّبمال.

چاپ لیتوگرافی روی حلبی: یادآوری این روش چاپ، که گرچه متروک است، ثمرات چشمگیری داشته است، لازم می‌نماید. از گذشته‌های دور کوشش می‌شد روی حلبی چاپ کنند تا قوطیهایی دارای نوشته، برای فراورده‌های بویژه Soci'ete' des Cirages francais تهیه شود. برای این کار، ناگزیر از طرح دستگاهی شدند که شامل یک غلتک بینابینی بود که با کائوچو پوشانیده می‌شد و متن چاپ شوندهٔ غلتک حامل صفحهٔ زینک گراووری را دریافت می‌کرد و آن را بر حلبی انتقال می‌داد؛ آن‌گاه حلبی به دستگاههای خشبک کننده و جلادهنده منتقل می‌شد. آقای هانری و وازن[1] این روش را به‌طور کامل به‌کار گرفته است.

افست: اما دخالت یک غلتک بینابینی با پوشش کائوچو، این اندیشه را پدید آورد که از این سیستم در چاپ کلاسیک استفاده شود. این روش بدلیل انعطاف‌پذیری پوشش کائوچو، امکان به‌کار گرفتن کاغذهای بسیار سخت و بسیار زبری را که چاپهای دیگر نمی‌توانستند از آنها استفاده کنند، فراهم ساخت.

آقای شامپنوا[2] چاپگر پاریسی، نخستین کسی است که به این فکر افتاده بود، سپس آقای روبل امریکایی این اندیشه را گرفت و آن را به توسط ژول و وازن و دستگاه Roto-Calco وی عملی ساخت. چاپگران متعددی به این روش، که موفقیت شایانی داشت، روی آوردند.

بدین‌ترتیب، دخالت این سیستم در چاپ روتاتیو به‌کار برد دستگاه سه غلتکی انجامید: غلتک نخست حامل صفحهٔ زینک (روی) عکسبرداری شده بود؛ غلتک دوم که پوشش کائوچو داشت حامل چاپ میانی؛ و سرانجام، غلتک سوم حامل ورق یا رول کاغذ بود (شکل ۳۰).

1. H. Voisin 2. Champenois

مزایای تکنیک افست فراوان است: علاوه‌براین واقعیت که لایهٔ کائوچو با هر نوع کاغذسازگار می‌باشد، زینک (صفحهٔ روی) لیتوگرافی بسیار دیر خراب می‌شود زیرا با لایهٔ نرم کائوچو در تماس است و بنابراین، سرعت چاپ می‌تواند بدون اینکه آسیبی برساند افزایش یابد و بنابراین، در چاپ افست، پرسها بسیار سریع می‌گردند.

این پرسها با چاپ بینابینی می‌توانند محصول بسیار تمیزی داشته باشند اما تحویل مقادیر بالایی که روش هلیوگراوور، چاپ‌گود، یا تیپوگرافی و چاپ برجسته، می‌توانند داشته باشند، برای آنها دشوار است. با این همه چند سال است که در این قسمت پیشرفتهایی داشته‌اند.

روتاتیوهای افستی ورق: در روش افست ما با همان ماشینهای روشهای دیگر و نیز صفحات خمش‌پذیری که در تیپوگرافی کاربرد دارند سروکار داریم. اما بدیهی است که افست، ماهیت دیگری نیز دارد. در این رشته هم، مؤسسه دوپون دونمور، صفحات ویژهٔ افست را ساخته است که از یک ورق آلومینیم بر روی بسپار لایدل Lydel، که بسیار محکم است، تشکیل شده است.

دستگاههای حامل ورق کاغذ می‌توانند در هر ساعت ۸ تا ۹ هزار نسخه را به چاپ برسانند. آنها برای چاپ ۱، ۲، ۳ و ۴ رنگ، همزمان و با یک موتور مخصوص هرگروه چاپی ساخته شده‌اند. چنین ساختاری آنها را قادر به‌کار هم مجزا و هم همزمان گروهها کرده است. سینیهای ورق رسان به‌طورکلی، سفره‌ای هستند و کاربرد هر نوع کاغذ ـ از پوست پیازی تا مقوا ـ را ممکن ساخته‌اند. کار نمزنی سیلندر حامل صفحهٔ چاپ کننده، با غلتکهایی انجام می‌گیرد که آسان تنظیم می‌شوند.

چند سال است که گاهی از ماشینهای افست ورقی برای تجدید چاپ کتابهای تیپوگرافی، که هر صفحهٔ آنها عکسبرداری شده و در جای معین روی صفحه چاپ کننده قرار گرفته است، استفاده می‌شود. بدین‌ترتیب، از کار صفحه‌چینی صرفه‌جویی شده است؛ چنانکه بازهم، چند تصحیحی در متن باید وارد شود، می‌توان ـ اگر زیاد مهم نباشند ـ بعضی بندها را از نو چید و آنها را در جای خود روی صفحهٔ چاپ کننده قرار داد.

روتاتیوهای افستی رول: از این روش نه‌تنها در چاپ روزنامه‌ها، بلکه همچنین برای چاپ کتابهای دارای تیراژ زیاد، مثلاً کتابهای جیبی استفاده می‌شود. چاپ صفحات زوج و فرد، چه سیاه و سفید و چه رنگی با یک حرکت دستگاه انجام‌پذیر است.

سرعت گردش این ماشینها بسیار زیاد، و حدود ۲۵ تا ۳۰ هزار نسخه در ساعت می‌باشد.

ساخت وسایل حمل‌ونقل

بر خلاف شرایط پیدایش راه‌آهن و توسعهٔ ساخت وسایل مربوط به آن، پیدایش وسایل دیگر حمل‌ونقل، انگیزهٔ اقتصادی معینی نداشته است. ساختن وسیلهٔ تفریح برای اشخاص مهم، انگیزهٔ پیدایش پیاپی دوچرخه، اتومبیل و سپس هواپیما بوده است. محرکهای اصلی هر یک از این سه اختراع، اگر عین هم نباشند، لااقل مشابه هم هستند. در طی سالهای ۱۸۶۰ کاربرد یک وسیلهٔ حمل نسبتاً ارزان و همیشه آماده، که برای حرکت به‌کار عضلانی نیازمند باشد انگیزهٔ یک کار فیزیکی متداوم بود. ولوسیپد[1] که در آغاز وسیلهٔ تفریح یک قشر برگزیده بود، سپس دوچرخه، در اندک مدتی وسیلهٔ ورزش مردم شدند. اما پس از گذشت مدت زیاد، دههٔ ۹۰، شماری از تأسیسات ماشین‌سازی، این تولید را به کارهای خود افزودند و زمانی‌که دوچرخه یک وسیلهٔ آمد و رفت روزانه شد، مقدار تولید آن بسرعت افزایش یافت.

انگیزهٔ سبقت نیز در ساخت اتومبیل شرکت داشته است، اما این سبقت، خود را در کاردانی مکانیسین برای ساخت یا انطباق دادن موتور بوسیله، و نیز مهارت در رانندگی و بالاخره تهور اخلاقی راننده‌ای که معمولاً خود سازندهٔ اتومبیل بود، نشان می‌داد.

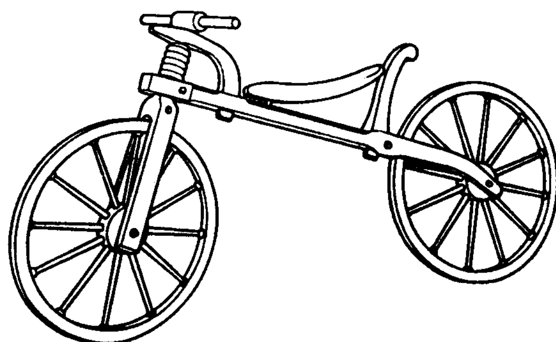
این دو تمایل، پس از پشت سر گذاشتن مراحل نخستین‌کار، در جهت پیروزی در سرعت تمرکز یافتند. اتومبیل را، نخستین سازندگان آن، به میزان کمی تولید می‌کردند، و مشتریان خود را از میان لایه‌های بسیار مرفه جامعه می‌یافتند. مدتی حدود ده سال، اتومبیل به عنوان یک وسیلهٔ مسابقه و نشان خارجی ثروتمند بودن باقی ماند، سپس رفته رفته و نخست برای اعضای برخی از مشاغل از قبیل پزشکان، از وسایل جابه‌جایی شد.

همراه این هوس، نوعی سبقت، مشابه با آنچه که با اتومبیل پدید آمده بود، میل آزاد شدن از وزن، با رویای شیرین پشت‌سر گذاردن فواصل به دلخواه در هوا، از علل پیدایش و نخستین پیشرفتهای هواپیمایی در آغاز سدهٔ بیستم به‌شمار می‌آید. هدفهای کاربردی این وسیله، زمانی مشخص شدند که هواپیما دارای کار مطمئن و نوعی امکان کنترل واقعی مسیر شد. در آغاز جنگ جهانی اول، ارتشهای کشورهای مختلف، هر یک دارای لااقل چند فروند از انواع هواپیما بودند.

بدین‌ترتیب، پایه‌های این صنایع عظیم ماشین‌سازی و متالورژی در اصل توسط چند متفنن کارآمد و گاهی متهور گذارده شد.

ولوسیپد تاریخ ساخت ولوسیپد، نخستین نمونهٔ مکانیکی چیزی که به دوچرخه تبدیل شد، با وجود اینکه با مقداری داستان‌پردازی و چند حادثه افسانه‌آمیز همراه است، کاملاً روشن می‌باشد.

۱. Ve'locipede به معنی قدمهای سریع



شکل ۳۱. درزین.

گفته می‌شود که ولوسیپد در سال ۱۸۶۱ در کارگاه یک کالسکه‌ساز فرانسوی به نام هانری میشو[1] ساخته شد. در سدهٔ نوزدهم، ابزارهای گوناگونی با یک دیرک چوبی که دو چرخ به دو سر آن وصل کرده بودند ساخته می‌شد، و اشخاصی برای تفریح بر این دیرک سوار می‌شدند و با فشار پا روی زمین، خود را به جلو می‌راندند. این سنت به اواخر سدهٔ هجدهم برمی‌گردد و می‌توان نخستین مدل آن را سلریفر[2] ـ اختراع شخصی به نام سیوراک[3] دانست و مدل دوم که دارای یک چرخ هدایت کننده در جلو بود اختراع بارون ف. ر. درایس فون زاوئربرون[4] در سال ۱۸۱۸ است که نام درزین، که هنوز هم متداول است از آن گرفته شده است (شکل ۳۱).

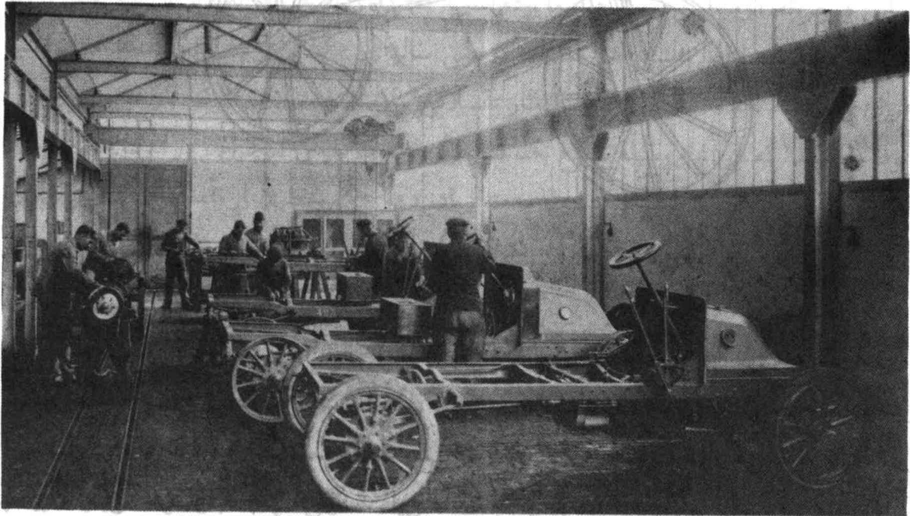
این دو روایت، ریشه در پاریس دارند اما تصویرهای متعددی گواهی می‌دهند که ولوسیفر[5] یا درزین در سراسر این سده و در همهٔ کشورها، به‌عنوان یک وسیلهٔ شیک تفریحی شناخته می‌شد و مورد استفاده قرار می‌گرفت. لااقل بخشی از این وسیله بویژه در بریتانیای کبیر که این وسیله را با نام جالب *hobby − horse* می‌شناختند، از آهن ساخته می‌شد و دارای صندلی و فنرهای تخت بود. احتمال می‌رود که بجز آقای ارنست میشو، پسر کالسکه‌سازی که در بالا از وی نام بردیم، پیشه‌وران دیگری نیز بر روی توپی چرخ جلو، یک دسته گذاشته بودند که به رکابهایی اتصال داشت، و پیشروی این وسیله را بدون فشار پا به زمین، ممکن می‌ساخت (شکل ۳۲). در انگلستان

1. H.Michaux

۲. Ce'le'rifer'e به‌معنای انتقال دهندهٔ سریع

3. Sivrac 4. F. R.Drais Von Sauerbronn

۵. Ve'locifer'e به‌معنای انتقال دهنده سریع



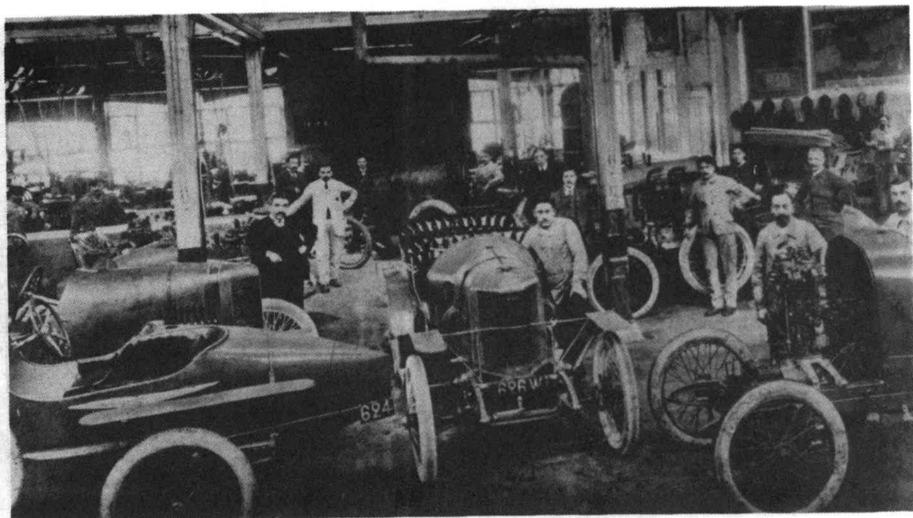
تابلوی ۱۱. کارخانهٔ اتومبیل‌سازی سوته ـ آرله (Sauter-Harle') (حدود ۱۹۱۰).

گفته می‌شود که آقای کرک‌پاتریک مک‌میلان[1] اسکاتلندی در سال ۱۸۳۹ بر وسیلهٔ خود دسته‌ای گذاشته بود که رکابی در چرخ عقب داشت. بیست سال بعد، وسیلهٔ میشو، بسیار قابل استفاده شد و در طی سالهای ۶۰ ولوسیپدهایی در حرکت بودند که گرچه مانند اسلاف خود، وسیله‌ای برای تفریح بودند، اما سریعاً رواج زیادی یافتند.

در ساخت این ولوسیپدها، که در آغاز به تقلید از مدل درزین از چوب استفاده می‌شد، بخشی از قطعات Hobby-horse نیز به‌کار گرفته شد. کالسکه‌سازی جای خود را به چلنگری و سپس مکانیکی واگذاشت. پیشه‌وران زیادی کارگاههایی برای ساخت آن گشودند: کارگاه آقای میشو به شرکت ولوسیپد پاریس تبدیل شد، که با مدیریت دیگری، گویا مهمترین مؤسسه این دهه در فرانسه بود.

این دوره، ویژهٔ مسابقات نخستین رانندگی در جاده‌ها بود و در نتیجه، تخیل سازندگان را برای

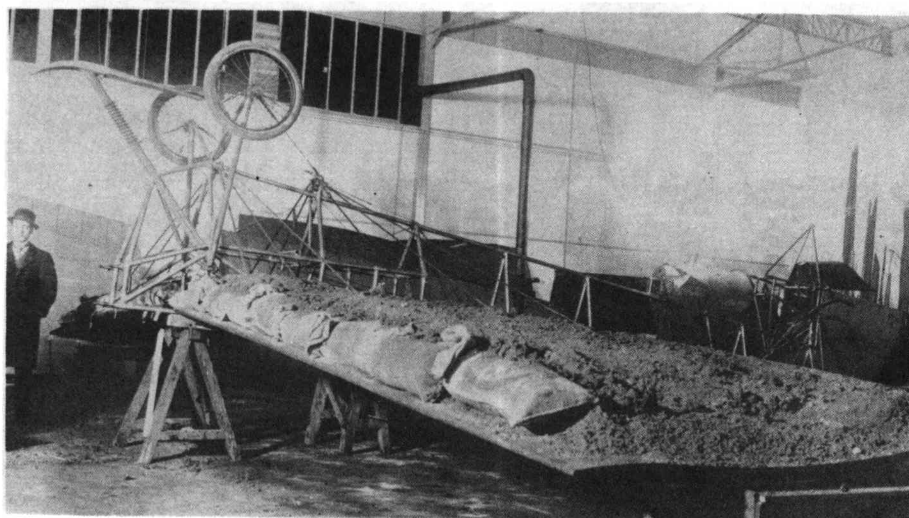
1. kirkpatrick Macmillan



تابلوی ۱۱ مکرر. کارخانهٔ اتومبیل‌سازی پژو (۱۹۱۱).

بهتر کردن کار وسایل خود تحریک می‌کرد. در همین دوره، نخست ترمز ساخته شد که پاشنهٔ متکی روی طوقهٔ چرخ جلو، با پیچانیدن مشتهٔ دستهٔ دوچرخه بمنظور گردانیدن تسمهٔ انتقال حرکت که از روی فلکه‌ها می‌گذشت، عمل می‌کرد. ترمز کنونی در چند سال بعد، با اهرمی که روی دستهٔ دوچرخه قرار داشت و نیز بازی اهرمهای مفصلی، زمانی پدید آمد که نوع ساخت فلزی، جانشین ارابه‌سازی چوبی شد. نخستین فنرهای ضد تکان، شمشی (تخت) بودند و بی‌درنگ رواج یافتند. با تعویض دسته‌های چوبی یا میله‌های فلزی که به‌طور شعاعی دور توپی چرخ قرار داده می‌شدند با سیمهای فولادی که از محیط توپی به‌سوی طوقه متوجه بودند و در اثر کشش عمل می‌کردند، از طرز کار ارابه‌سازی بازهم دورتر شدند. اسکلت فلزی با کاربرد لوله‌ها یا ورقهای آهن جوشکاری شده، سبکتر شد و حدود سال ۱۸۶۵ به‌جای زه‌های آهنی چرخها از طوقه‌های کائوچویی توپر استفاده شد. آقای ژول سوریره[1] و احتمالاً چند پیشه‌ورِ دیگر فرانسوی، حدود ۱۸۶۹ برای کاهش

1. Suriray



تابلوی ۱۲. آزمایش مقاومت بالهای هواپیما (حدود ۱۹۱۰).

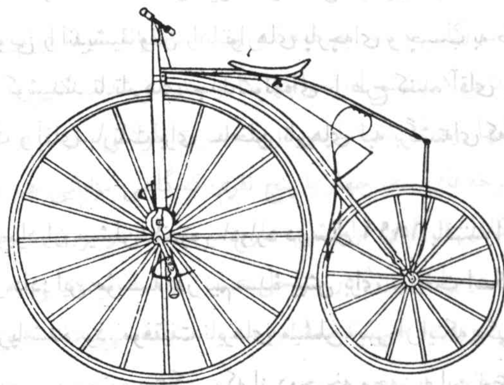
اصطکاک، در توپهایی چرخ از یاتاقانهای کاسه ساچمه‌ای استفاده می‌کردند. اولین کلاچ یک طرفه (جغجغه‌ای) در همین دوران ساخته شد.

دوچرخه: سال ۱۸۶۹ بجهت تحول ولوسیپد جلوهٔ خاصی دارد. نخستین مسابقه در راه طولانی پاریس ـ روان در ماه نوامبر، کمی پس از نخستین نمایشگاه آثار صنعتی که در پاریس طنین افکند، سازمان داده شد. تولید دوچرخه در مقیاس صنعتی، در انگلستان، کاونتری، به‌عنوان ادامهٔ تولید چرخ خیاطی شروع شد. مؤسسات دیگر سازندهٔ چرخهای خیاطی، سانبیم[1] و هاو، نیز دست به‌کار این تولید شدند. سرانجام در همین سال است که آقای امیل میبر پیشه‌ور بر اثر راهنماییهای ساعتسازی به نام گیلمه، ولوسیپد را با گذاردن یک رکاب در مرکز اسکلت و یک زنجیر بی‌انتها، برای انتقال همراه با کاهش حرکت در دندهٔ واسطه چرخ عقب، به دوچرخه تبدیل کرد (شکل ۳۳).انگلیسیها این اختراع را به هـ. ج. لاوسن[2] نسبت می‌دهند (در سال ۱۸۷۹).

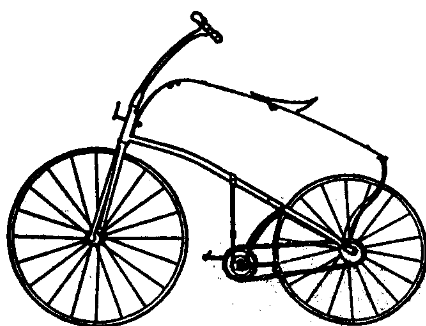
1. Sunbeam 2. Lawson



تابلوی ۱۲ مکرر. ساخت سری هواپیمای BREGUET XIV (حدود ۱۹۱۸).



شکل ۳۲.ولوسیپد آقای میشو.



شکل ۳۳.دوچرخهٔ گیلمه با رکاب.

به‌هر تقدیر، انکار نمی‌توان کرد که ساخت ولوسیپد، و پس از آن دوچرخه، در مقیاس صنعتی، واقعاً در انگلستان در ۱۸۶۹ـ۱۸۷۰ شروع شد. در فرانسه به دشواریهای برخاسته از جنگ ۱۸۷۰ـ۱۸۷۱ برای توضیح توقف ابتکار در این کشور، اشاره می‌شود. اما تولید آن بزودی سازمان یافت. تأسیسات ماشین‌سازی ـ چرخ‌خیاطی، سلاحهای آتشین و موتورها که بیش از بقیه به این تأسیسات وابسته بودند ـ از حدود ۱۸۹۰ در تعداد بسیار زیاد به بازار عرضه شدند.

در طی این دو دهه، دوچرخه، شکل نهائی خود را به‌دست آورد. دوچرخ با قطرهای برابر نسبتاً ضعیف، زین، دسته با مشته‌ای که به کابلهای ترمز فرمان می‌داد، و بالاخره تغییر سرعت. اما مهمتر اینکه تایرها برای طوقه‌های چرخ پذیرفته شدند، کاری که پس از اندک مدتی نوار پیچهای توپر را از میدان بدر کرد. در ۱۸۸۸، همان‌طورکه در فصل دیگری دیده شد، آقای دنلپ نوعی شیلنگ بادشوندهٔ کائوچویی را اندیشید و آن را با نوارهای پارچه‌ای و چسب به طوقه چسباند. حدود سال ۱۸۹۰، انگلیسیها کوشیدند تا تایرهای جدا شونده‌ای را طرح کنند. آقای ولش[1] برای ساختن تایرهای دارای لبهٔ راست و آقای بارتلت برای ساختن تایرهای لبه برگشته‌ای که در چاک طوقه جا می‌گرفتند کوشیدند.

اما راه‌حل قطعی را برادران میشلن: آندره و ادوارد در سال ۱۸۹۱ یافتند. اختراع آنها مسیر این مؤسسه را از بنیان تغییر داد؛ این مؤسسه در نیم سدهٔ پیش برای ساخت اسکلت فلزی، لوله‌های خمپذیر و وسایل دیگر برپا شده بود. موفقیت تایرهای میشلن، پس از اینکه یکی از شرکت کنندگان مسابقهٔ سال ۱۸۹۱ پاریس ـ برست و برعکس، که از دوچرخه مجهز به این نوع تایرها استفاده کرده بود برنده شد، تضمین گردید.

1. Welsh

موفقیت قطعی: انگیزهٔ کوشش برای تکمیل این وسیله در جریان این رقابتها قابل درک است. علاوه‌بر مسیرهای متعدد روی پیست، میدانهای جدید دوچرخه‌رانی، تقریباً در همهٔ کشورها از دههٔ پیش آماده شده بودند. مثلاً در فرانسه، دو مسیر بزرگ در سال ۱۸۹۱: بوردو ـ پاریس در ۵۸۰ کیلومتر در مدتی کمی بیش از ۲۶ ساعت طی شد و پاریس ـ برست و بازگشت در ۱۲۰۰ کیلومتر در ۷۱ ساعت و ۳۰ دقیقه. جز دوچرخه، هیچ وسیلهٔ جابه‌جایی شخصی، که قادر به انتقال انسان به فواصل دور باشد در دسترس نبود. اسب هم گران و هم فاقد سرعت کافی بود.

پذیرش تایرها، استقبال عمومی از دوچرخه را، با وجود وضع بد جاده‌های بین شهری و درون‌شهری آن زمان، به‌دنبال داشت. این امر نوعی یک شکلی مشخصات چرخها، تولید ارزان تیوبها و تایرها را، که پاسخگوی همهٔ نیازهای قدیمی تولیدکنندگان حرفه‌ای نبودند، تحمیل کرد، و توضیح می‌دهد که چرا مدلهای گوناگون وسیلهٔ حمل‌ونقل، که زاییده تخیلات کمتر عملی بعضی نوآوران بودند، عمر کوتاهی داشتند. تنها ولوسیپد با چرخ حرکت دهنده، پیش از اینکه قطر آن بسیار زیاد شود، و نیز نمونه‌ای در فرانسه به نام Grand Bi چند سالی با دوچرخه رقیب شدند. نمونه‌های دیگر ولوسیفر، وسیله‌ای دو نفره، با چرخهای موازی، که از سیستم انتقال حرکت به توسط اهرمها و چرخدنده‌های مخروطی زیردنده استفاده می‌کردند، تنها یک وسیلهٔ تفریح بودند، مگر، این آخری که رواج کوتاهی داشت.

دوچرخه با چرخهای کوچک شده، که در آغاز و پایان حرکت آن روی نوک پا تکیه می‌کردند رفته‌رفته کلاسیک شد و آن را به‌مناسبت این مزایا در سال ۱۸۸۵ دوچرخهٔ مطمئن Safety bicycle نامیدند.

تنها دوچرخه‌های دو رکابی و سه چرخه‌ها، با وضع محقرانهٔ خود، دوام زیاد داشتند. بنابر مد روز، دوچرخه‌های دو رکابی کم‌وبیش در حراجها دادوستد می‌شدند. کمی پیش از جنگ جهانی دوم، توده‌های مردم به آنها روی آوردند اما پس از یک فترت طولانی، بازهم در آغاز سالهای ۱۹۷۰، خودی نشان داد. دوچرخه‌های سه، چهار یا پنج نفری که گاهی مزایایی هم داشتند تنها، همچون نمونه‌های آزمایشی، گاه‌گاهی از وادی فراموشی خارج می‌شدند. در مورد سه چرخه‌ها می‌توان گفت که در مناطقی، مثلاً در جزیرهٔ اولرون[1] در سواحل غربی فرانسه، توده‌هایی به آن وفادار مانده‌اند و از آن برای جابه‌جاییهای روزمره، حتی تا نیمهٔ این سده استفاده می‌کردند. هنوز، هم نمی‌توان گفت که بکلی کنار گذاشته شده‌اند.

---

1. Ole'ron

اهمیت کلی اختراع دوچرخه: اختراع دوچرخه و جهش برای تولید صنعتی آن، با اینکه حالت داستانی و گاهی سرگرم کننده دارد، کاملاً به دو دهۀ پایانی سدۀ نوزدهم مربوط می‌شود. نخست، این اختراع، اهمیت تازه‌ای به صنایع مکانیک کوچکی بخشید که بر زندگی روزمرۀ افراد تأثیر بزرگی می‌گذارند، مانند صنایع ساخت چرخ‌خیاطی و ماشین تحریر، پیش از هجوم وسایل برقی خانگی در نیمۀ سدۀ بیستم. این صنایع مکانیکی کوچک و غالباً دقیق، در کنار صنایع مکانیکی بزرگ، ماشین ـ ابزارها، موتورها، الکتروتکنیکها و به‌طوری‌که بعداً خواهیم دید، وسایل کشاورزی، جراثقالها و غیره، اهمیت اقتصادی روز افزونی یافتند. وانگهی از تولید سلاحهای سبک و سنگین گرم نیز طبعاً باید نام برد.

این اختراع، انگیزۀ صنعتی شد که مشتریان بسیار کم داشت، و این صنعت کائوچو بود که کسان زیادی را برای تولید و فروش، در ارتباط مستقیم با مردم به‌کار گرفت؛ مصرف کنندگانی که علت اصلی پیدایش کارگاههای کوچک و متعدد تعمیرات مکانیکی مورد نیاز مستقیم مردم، نظیر ارابه‌سازهای قدیم، آهنگران، نعلبندها و شبکه‌های واقعی پخش بودند.

افزون بر این، عادتهای بخش مهمی از تودۀ مردم تغییر یافت. از همان پایان سدۀ نوزدهم، کاربرد دوچرخه، با آسان کردن رفت و آمد به محل کار و نیز مکانیکهای تفریحی، مثلاً حومۀ شهرهای بزرگ و مناطق توریستی، همۀ مشخصات یک پدیدۀ اجتماعی بسیار مهم را داشته است. این وضع آشکارا نشانۀ نوعی آزاد شدن حرکت افراد و برای نخستین بار، کسانی بود که از تودۀ مردم بودند. ارتش بسرعت دوچرخه را پذیرفت، حتی اکنون نیز در بعضی از برخوردها، مثلاً در جنگ ویتنام شمالی برای آزادسازی همه سرزمینشان از یک قدرت مستعمراتی مجهز به وسایل بسیار مدرن جنگی، دوچرخه نقش مهمی داشته است.

ساخت چرخها نیز بازتاب کم‌اهمیتی در تکنیک نداشته است. راه‌حلهایی که برای ساخت وسایل سبک طی سالیان ۱۸۹۰ پذیرفته شدند اهمیتی در ردیف راه‌اندازی موتورهای بنزینی برای ساخت نخستین اتومبیلها داشتند. نه‌تنها انواع چرخها، بلکه استفاده از لوله‌های سبک را مبتکران اولیۀ صنایع اتومبیل‌سازی پذیرفتند و، بدین‌ترتیب، مانعی را که ناشی از اقتباس تکنیکهای ارابه‌سازی در مدت ده تا پانزده سالی بود که موتورهای احتراقی ضعیف هنوز قدرت چشمگیری نداشتند، برطرف ساختند ـ این مانع همۀ کوششهای گوناگون برای حرکت دادن راهپیماها به کمک بخار را با شکست روبه‌رو ساخته بود. این کوششها تقریباً در سراسر سدۀ نوزدهم ادامه داشت؛ وضع راهها هم بی‌نیاز از شرح و توصیف است. آقای سرپوله در آغاز سدۀ بیستم

نشان داده است که اگر عوامل دیگر، لااقل در بخش وسایل جابه‌جائی سبک بسرعت از میدان خارج نشده بودند، از نظر فنی، موتورهای بخاری می‌توانستند با موتورهای بنزینی رقابت کنند.

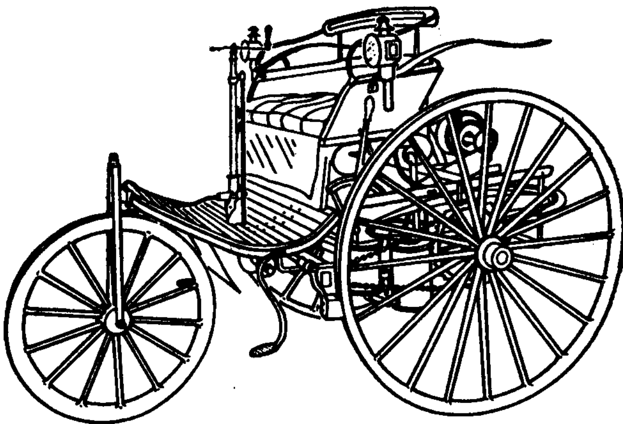
نخستین وسایل موتوری جابه‌جایی، سه چرخه یا چهار چرخه بود که ساختمان آن به‌طورکلی از دوچرخه خصوصاً از تایرها اقتباس شده بود. اواسط سالهای ۱۸۹۰ بود که ساختمان اتومبیل، برای یافتن راه‌حل مشکلات خود دست به‌کار شد.

مبانی ساخت هواپیما در این دهه‌های سرنوشت‌ساز بر سیاست اقتباس از صنعت چرخ‌سازی و همان علل استوار بوده است. نخستین سازندگان این وسیله برای فرود در باندها هیچ راه‌حل دیگری تصور نمی‌کردند و این مشکل به اندازهٔ موتور، اساسی بود؛ مشکل بالهای هواپیما سالها مورد بررسی بود و دشواری طرح فرمانهای آن، که نیازی به گفتن ندارد. تنهٔ هواپیما را طبق روشهای کالسکه‌سازان از چوب می‌ساختند و صنعت نوزاد هواپیمایی در مراحل اولیهٔ خود، از این نظر، کمتر از اتومبیل‌سازی وابسته به چرخ بوده است؛ با این‌حال، چنانچه کارهای پیشین انجام نگرفته بودند، پیشرفت با دشواری بسیار بیشتری صورت می‌پذیرفت.

ساخت اتومبیل: دربارهٔ عوامل فنی مربوط به ساخت اتومبیل، در اینجا بسیار کم سخن گفته خواهد شد. در فصل ۲ مجلد چهارم، در واقع مهمترین این عوامل بررسی شدند. اما عوامل اجتماعی ـ اقتصادی این وسیله، باید مورد بررسی عمیقتری قرار گیرند، که حجم این مجموعه آن را اجازه نمی‌دهد. تنها به تأثیر بسیار زیاد عوامل نظامی و جنگ جهانی اول در تغییر شکل صنعت اتومبیل در رشتهٔ صنعت پتک‌سازی اشاره‌ای داریم.

پس از گذشت دورهٔ کوتاه و مهم راه‌اندازی این صنعت در سالهای ۱۸۹۰، ساخت اتومبیل، شکل نامطلوبی به خود گرفت که از مشخصات جهش نخستین در هر زمینهٔ تولیدی جدید است. تولید در مقیاس کم، که گام‌به‌گام پیش می‌رفت بوسیلهٔ چند مؤسسه‌ای تأمین شد که در آن زمان واجد تقریباً پایه‌های صنعتی و بازرگانی و به کارهای گوناگون مکانیکی، ماشین ـ ابزار، وسایل کسب و کار و ابزارهای کشاورزی سرگرم بودند، و نیز در آن زمان در ساخت راهپیماها، یعنی اساساً رشته هیپوموبیل کار می‌کردند.

چند مؤسسه در کشورهای آلمان، انگلستان، فرانسه، ممالک متحدهٔ امریکا و غیره برای مدت کمی به این رشته تا اندازه‌ای روی آوردند. معلوم است که ساخت سری اتومبیل به همت آقای فورد در سال ۱۹۰۸ در دیترویت شروع شد، گرچه پیشرفت این صنعت را مدتها امتیاز معروف



شکل ۳۴.اتومبیل ساخت پنار ـ لواسور، با موتور بنز، (۱۸۹۱).
موتور دو سیلندری بنز در زیر شاسی دیده می‌شود. انتقال حرکت با زنجیر انجام می‌گیرد و چرخ طیار افقی است.

اختراع آقای سلدن[1] ۱۸۷۹ در مورد همهٔ وسایل موتوری براتین[2] سد کرده بود. زدوبندهای قضائی، اعتبار این امتیاز را تا سال ۱۹۱۲ ادامه داد، اما آقای فورد توانست با دشواریهایی آن را در مورد صنایع امریکا برطرف سازد. پیش از آنکه تولید اتومبیل، حدود ۱۹۱۰ـ۱۹۱۵ به ماورای اقیانوس اطلس تحمیل شود پس از سال ۱۹۲۰ ـ در قارهٔ اروپا، ساخت آن به‌طور وسیعی «شخصی» انجام می‌گرفت. مؤسساتی که از نخستین سالهای سدهٔ بیستم در مقیاس صنعتی تولید می‌کردند به مشتریان خود وسایل جابه‌جایی بسیار گوناگونی تقدیم می‌کردند، زیرا شمار زیادی از سازندگان کوچک، طبق عادت، به هوسهای مشتریان تا آنجا که در امکانشان بود، توجه نشان می‌دادند.

در واقع، بخش مهمی از تولید، تا آغاز جنگ جهانی اول، لااقل در فرانسه، بوسیلهٔ سازندگان هیپوموبیل تأمین می‌شد که موفقیت احتمالی روش تازه جابه‌جایی را پیش‌بینی می‌کردند و بی‌درنگ در جست‌وجوی راهی برای پایدار ماندن برآمدند. این وسیلهٔ موتوری در آغاز، صرفاً کالسکه‌ای بدون اسب بود (شکل ۳۴)،مالبندها را حذف و به‌جای آن یک میلهٔ فرمان گذاشته بودند که دستگاه را در جلو چرخهای حرکت‌دهنده هدایت می‌کرد؛ موتور و شاسی را کارگاههای مکانیکی می‌ساختند؛ اطاق و نشیمنگاه مطابق سنت ارابه‌سازان از چوب دارای روکش فلزی، چرم و یراق‌دوزی تهیه می‌شد. مؤسسات بزرگ هم کار دیگری نمی‌کردند. قسمتهای اصلی ازکارگاههای مکانیکی به کارگاههای

1. Selden 2. Brighton

ارابه‌سازی انتقال می‌یافت تا روکش شوند. نخستین اقتباسها مربوط به چرخها و تایرها، سپس شیشهٔ جلو راننده بود که از حدود سال ۱۹۰۰ بتدریج شکل اتومبیل را تغییر دادند؛ سرانجام، فانوس آن بود. چراغهای نفتی کالسکه‌های اسبی، طی مدت ده سال جای خود را به مشعل شعله پهن دادند که از استیلن محلول تغذیه می‌شد که منبع آن روی یکی از رکابهای جانبی نصب می‌شد. مدت زیادی، این اتومبیلها، یک وسیلهٔ لوکس تلقی می‌شدند. یک کروک چرمی بر روی یک داربست فلزی، شبیه کالسکه‌های اسبی، از مسافران حمایت می‌کرد؛ این کروک را می‌شد به عقب راند. برای تأمین دید جانبی، پنجره‌هایی ایجاد کرده بود که با ورقهای طلق مسدود می‌شدند و تا سالهای ۲۰ یا ۳۰ وجود داشتند.

در ممالک متحدهٔ امریکا، که صنعت اتومبیل آن پیش از جنگ جهانی اول، رونق مجدد خود را یافته بود، در سالهای ۲۰ فراورده‌های آن به بازارهای وسیعی دست یافتند. می‌توان گفت که همهٔ راه‌حلها از لحاظ مکانیکی، پیش از ۱۹۱۴ آزمایش شده بودند. از تحولات موتور سخنی نخواهد رفت، زیرا آن را بتفصیل در مجلد پیش دیدیم، همچنین از وسایط انتقال حرکت، که به‌عنوان نمونه، چهار شاخ ژانتو[1] همراه با ترتیبات دیگر فرمان، از این پس نرمی و دقت مسیر را تأمین کرد.

ساخت اطاق و تجهیزات آن دستخوش تحولی پیوسته بوده است. در آغاز، فلز تنها برای ساخت کروکهای پوشندهٔ موتور به‌کار گرفته می‌شد. در سالهای ۱۹۱۰ـ۱۹۲۰ ورقهای فولادین که بر تخته‌های طویل محکم شده بودند رفته‌رفته جای را برای تخته‌های آماده شده خالی کردند. در آغاز این دوره بود که «گلگیر»ها از چوب روکشدار و بعد کمی پیش از جنگ، از ورق آهن پرس شده به بازار آمد. سپس این جهش بسیار سریع شد و محرک آن، سری شدن ساخت شاسیها بود. خودشاسی را تا آن زمان از قطعات لوله‌ای می‌ساختند که با اتصالاتی چدنی، لوله‌های U شکل و تخته‌های طویلی با ورق فولادین محکم و به یکدیگر متصل می‌شدند. پس از اندک مدتی طرح دیگری پیشنهاد شد. شاسی به‌شکل مجموعهٔ محکمی از تیرآهن آماده می‌شد؛ ورقهای آهنی پرسکاری شده به‌شکل اطاق روی آن نصب می‌شدند و این مجموعه را با جوش برقی روی هم محکم می‌کردند.این‌گونه ساخت را در فرانسه «سراسر فولاد» می‌نامیدند و در فرجهٔ ۱۹۲۵ـ۱۹۳۰ بسرعت جانشین ساخت پیشین شد. لوازم اتومبیل از نظر اندازه و قدرت پیشرفت داشتند، قطعات سنبه ماتریس‌کاری شونده اهمیت روز افزونی یافتند و عملیات مونتاژ سریعتر شدند، درحالی‌که کیفیت پیوستهٔ تکامل‌یابندهٔ فولاد، سبک شدن وزن خودرو را ممکن کرده بود. پس از جنگ جهانی دوم به مفهوم اطاق مستقل از شاسی رسیدند، زیرا سختپایی آن تا حدودی نقش شاسیهای کلاسیک

1. Jeantaud

را منتفی می‌کرد. معلوم است که بعداً بعضی از مؤسسات با مواد پلاستیکی قالب‌گیری شده، قسمت فوقانی اطاق را ساختند.

بسیاری از قطعات اتومبیل طی نیم سده مورد تحقیق و تکمیل بوده‌اند و می‌توان آنها را به یاد آورد. مهمترین آنها، تایرها، ترمزها و قسمتهای برقی هستند. در دههٔ ۲۰ راه‌حلهای مربوط به این مسائل بسیار ثمربخش بودند. ترمزهای روی چهار چرخ و نیز سیستمهای گوناگون ترمز ساخته شدند که در نرمی و ایمنی رانندگی مؤثر افتادند. ترمزهای مکانیکی تا سال ۱۹۳۰ وجود نداشتند. در این دوره استفاده از ترمزهای هیدرولیکی لاکهید[1] که طرح آن از سال ۱۹۱۸ مورد بررسی بود، شروع شد. در مورد قسمتهای برقی باید گفت که برای روشن کردن اتومبیل از مگنت استفاده می‌کردند و روشن کردن با باتری، تا اواسط دههٔ ۲۰ جای مگنت را نگرفته بود. روشنایی برق درون و بیرون خودرو که تا مدتها به دور از تحول مانده بود، از سال ۱۹۲۲ تعمیم یافت. در امریکا، شرکت کادیلاک در سالهای ۱۹۱۲ـ۱۹۱۳، پس از اینکه آقای چارلزف. کترینگ[2] با الهام از موتورهای برقی ماشین حسابهای ثبت کننده، موتور بسیار کم‌حجمی، برای اینکه در زیر کاپوت اتومبیل جای گیرد ساخت، تحولی در این کار پدید آورد، و شرکت بندیکس[3] برای گرفتن و آزاد کردن خودکار کلاچ با موتورهای بنزینی استفاده از محور موتور برقی را پیشنهاد کرد.

برای اینکه از عوامل تحول در صنعت اتومبیل‌سازی یک تصور کلی داده باشیم باز هم باید عنصر دیگری را به یاد آوریم، و آن تایرها هستند که در هر مرحله، مشخصات و ابعاد آنها باید با وظایف جدیدی که به آنها تحمیل می‌شود همخوانی داشته باشند. در آغاز دههٔ ۲۰ تایرهای کم فشاری به بازار آمد که تکانهای اتومبیلهای توریستی را بخوبی مستهلک می‌کردند. وانگهی در سال ۱۹۱۶ در امریکا تایرهایی ویژهٔ کامیونها ساخته شد که تا اندازه‌ای نتیجهٔ پیشرفت حمل وزنهای زیاد بازرگانی یا گروه مسافر بود.

وزنهای سنگین: واگنهای باری از همان اوایل سدهٔ بیستم ساخته شدند. در پاریس، اتوبوسها در سالهای ۱۹۰۶ کار خود را شروع کردند و شرکت عمومی اومنیبوس در سال ۱۹۱۳ آخرین هیپوموبیلهای خود را از دور خارج کرد.

مدتی بیش از یک دهه، چرخهای این وسایل از کائوچوی توپر یا نوارهای فلزی ویژه‌ای ساخته می‌شدند. ارتشها برای جابه‌جایی بعضی از وسایل خود از پیش از جنگ جهانی اول از خودروها استفاده می‌کردند گرچه تعداد آنها در آغاز بسیار کم بود. سنت، اقتضا می‌کند که تردد مشهور قطار کامیونهای ارتشی روی «جادهٔ مقدس» در خاطره‌ها بماند ترددی که ارتشهای فرانسه را در مدت نبرد

1. Lockheed 2. Ch. F. Kettering 3. Bendix

وردن در ۱۹۱۶ از لحاظ مهمات و خواربار تأمین می‌کرد. این جریان در پایان منجر به عمومیت یافتن این نوع حمل‌ونقل کالاها شد. کارخانه‌های امریکا در ۱۹۱۶ ساخت سری کامیونها را آغاز کردند و آنها را از ابتدای سال بعد در سواحل فرانسه پیاده کردند. این عملیات جنگی نشان داد که خودروهای زمینی می‌توانند در جابه‌جا کردن کالاها اثر بسیار مهمی داشته باشند.

ساخت اتوبوس، اتوکار وکامیونهای دارای تناژهای بسیار بالا، پس از جنگ جهانی اول، بسرعت افزایش یافت زیرا کشورهای صنعتی اصلی جهان در زمان جنگ با کارخانه‌های سازندهٔ آنها مجهز شده بودند. وانگهی بسیاری از مؤسسات سازندهٔ اسلحه و مهمات که در زمان جنگ توسعه‌یافته بودند راه تبدیل بسیار آسان محصولات خود را در ساخت انواع وسایل سنگین حمل‌ونقل یافتند.

در طی دههٔ ۳۰ سه عامل اصلی در جهت تعمیم این خودروها مؤثر شدند: مرمت و مناسب کردن شبکه راهها، تحول در طرح تایرها و سرانجام قبول کردن موتور دیزل. نوارهای فلزی چرخها از همان آغاز دههٔ ۲۰کنار گذاشته شد، اما تایرهای کائوچویی توپر، باز هم بیش از یک دهه در انواعی از خودروها باقی ماندند، و حتی سرویسهای شهرداری که سرعت کمی داشتند تا مدتی پس از آن‌هم از تایرهای توپر استفاده می‌کردند؛ در اواخر دههٔ ۳۰ در حمل‌ونقلهای زمینی، کاربرد تایرهای بادی تقریباً عمومیت کامل یافته بود. دربارهٔ موتور دیزل، دیدیم که در فاصلهٔ میان دو جنگ، ظهور اندکی داشت، اما در آستانهٔ شروع جنگ دوم، از موفقیت مستحکمتری برخوردار بود. تعمیم آن، سریعاً در پایان جنگ تحمیل شد.

ساخت هواپیما: به دلایل گوناگونی در این‌باره بکوتاهی بسیار سخن خواهیم گفت. در فصلهای دیگر مجلد چهارم، فرصتی بود تا از عوامل مختلف فنی و توسعهٔ هواپیمایی آگاه شویم. موتور، یا انواع موتورهای درونسوزی که در طول سدهٔ بیستم پیاپی ظهور کردند، آشکارا عامل مهمی بودند که کار آنها با سوختهای مایع بستگی تنگاتنگی داشت. یک نویسندهٔ امریکایی گفته است که پرواز پرآوازهٔ چارلز ا. لیندبرگ[1] در ماه مهٔ ۱۹۲۷ موفقیتی بسیار مهمتر برای موتوری بود که بدون ناراحتی مدت سی‌وسه ساعت کارکرد تا برای هواپیمایی که پرواز می‌کرد *Spirit of St – Louis* و نیز برای خود خلبان، گرچه کف‌زدنهای غرور آفرین تودهٔ مردم در سراسر جهان، برای خلبان و برای هواپیما بود و هیچ‌کس از موتور، یادی نکرد.

اما کاملاً آشکار است که برای پرواز دادن یک وسیلهٔ بسیار سنگین تراز هوا به کمک پیشرانهٔ مکانیکی نیاز است، بویژه برای تبدیل این نوع وسیله به یک وسیلهٔ ارتباطی، که علی‌رغم گوناگونی شرایط جوی و جغرافیایی به‌شکل یک شبکهٔ جهانی حمل و نقل با نظم و امنیت کارکند و ضمناً

1. CH. A. Lindberg

به‌عنوان یک سلاح جنگی خطرناک اهمیت داشته باشد، لازم بود که شاخه تازه‌ای از ساختهای مکانیکی و متالورژیکی پدید آید.

این صنعت با اقتباس، نخست از وسایل کار سنتی شکل دادن و مونتاژ مصالح، تکنیکهای ویژهٔ رشتهٔ خود را بسرعت به‌وجود آورد. این تحول درگذر دههٔ ۲۰ یعنی زمانی به آن تحمیل شد، که هواپیما، دیگر به مجموعهٔ کمپلکسی تبدیل شده بود که طرح آن بدون بررسیهای مقدماتی که خود پایه‌گذار رشته‌های متعددی بودند، امکان نداشت.

ساخت هواپیما از همان زمان به‌یک رشتهٔ صنعتی تبدیل شده بود که مسؤولیت رفع مشکلات تحقیق، اجرا و آزمایش در یک تراز بالای علمی و فنی آن به‌عهدهٔ کارشناسان بود. فهم این صنعت از توان افراد بیگانه از این رشته، فراتر رفت. وانگهی، چون تحول در گذر نیم سدهٔ پس از پایان جنگ جهانی اول، سریع و پیوسته بود، کارشناسان در هر دوران ناگزیر از تسلیح فکری و مادی خود شدند تا بتوانند دشواریهایی را که پیوسته تجدید می‌شدند حل کنند، و مفاهیم کهنه شده‌ای را که برای پیشبرد کارشان هیچ سودی نداشتند، کنار گذارند.

این امر توضیح می‌دهد که چرا تاریخ ساخت هواپیما بسیار کم شناخته شده است. دربارهٔ تاریخ هواپیمایی کتابهای زیادی نوشته شده‌اند، در آنها دربارهٔ نخستین خلبانان از زمان پروازهای کوتاه در آغاز سدهٔ بیستم تا کشف راههای هوایی در سطح زمین از پایان دههٔ ۲۰ تا پایان دههٔ ۳۰، به‌تفصیل سخن رفته است. این نوشته‌ها همچنین کاتالوگی، همیشه به‌صورت قطعه‌قطعه، از مدلهای متعدد هواپیما، از نظر نوع موتور و مشخصات وسایل به‌دست می‌دهند. اما از خلال آنها تکنیکهای صنعتی در هر دوره برای رسیدن به چنان مشخصاتی به‌کار برده شده‌اند استنباط نمی‌شود. همان‌طورکه در بخشهای دیگر دیده شد چنین نقایصی، ویژه هواپیمایی نیست، بلکه از مشخصات تاریخ همهٔ تکنیکهای پیشتازی است که در دهه‌های اخیر توسعه یافته‌اند.

مشکلات اساسی: ساخت هواپیما، مانند رشته‌های دیگر اصلی کنونی، با تولید در مقیاس اندک شروع شد. اما در همین مرحله هم نتوانست خود را نشان دهد، زیرا بعضی مشکلات اساسی را تعدادی از آزمایشگران سدهٔ نوزدهم حل کرده بودند، که از مهمترین آنها مشکل آئرودینامیکی نگاهداری آن در هوا و نیز حرکت آن بود.

لازم نیست که برای دستیابی به سرآغاز کار، تا آزمایشهای لئوناردو پیش برویم، که یادداشتها و نقشه‌های آن تا زمان ما ناشناخته مانده بودند و هیچ کمکی به ساختهای جدید نکرده‌اند. آقای جورج کیلی امریکایی طی نیمهٔ نخست سدهٔ نوزدهم مشاهده‌های فراوانی روی پروازکنندگانی که از

روی مدل بادبادک ساخته شده بودند، انجام داد. وی به این وسیله، دنباله‌ای به‌شکل صلیب افزود تا نگاهداری آن در حالت افقی در هوا ممکن باشد.

کاملاً روشن است که کیلی، نخستین کسی بود که متوجه شد که شکل تنه بادبادک الزاماً نباید تقلیدی از شکل پرندگان باشد. هرچند که بعضی از وسایل پروازی بزرگ وی می‌توانستند شخصی را جابه‌جا کنند، جز چند مقاله‌ای از وی نمانده است، کیلی وسایل و یادداشتهای خود را پیش از مرگش در ۱۸۵۲، از میان برد.

آزمایشگران نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم، برخلاف کیلی، کار ثمر بخشی انجام دادند. دو نفر اصلی آنها عبارت بودند از: اوتو لیلینتال[1] آلمانی و. پ. س. پیلچر[2] انگلیسی، که شخصاً با وسیله‌ای که ساخته بودند پرواز کردند. آقای لیلینتال، از قلهٔ تپه‌ای هزار بار پرواز کرد. مشاهدات آنها دربارهٔ چگونگی رفتار هواپیما در ارتباط با سرعت پرواز آن، مایل شدن آن نسبت به خط حرکت و افق، شکل هواپیما و غیره بود. چنین می‌نماید که آنها توانسته بودند هر دو مسأله اساسی پرواز: نگاهداری در هوا و حفظ مسیر، و ادارهٔ هواپیما را حل کنند مشاهدات آنها سبب شد که بعدها فرمولهای آئرودینامیکی لازم برای طرح و محاسبهٔ هواپیماها پیشرفت کند. چنانچه آنها قربانی حوادث مرگبار نمی‌شدند (لیلینتال در ۱۸۹۶ و پیلچر در ۱۸۹۹) شاید یکی از آنان موفق به پرواز با یکی از وسایل موتوردار می‌شد.

آقای اوکتاوشانوت[3] فرانسوی آزمایشها را با هواپیماهای تک‌بال یا دوبال ادامه داد. هواپیماهای دوبال وی از روی مدل آزمایشی آقای لارنس هارگریو استرالیایی در ۱۸۹۳ ساخته شده بودند. آقای شانوت عملاً اتصال پیشگامان پرواز با هواپیماهای بی‌موتور و هواپیماهای موتوردار، برادران رایت را تأمین کرد؛ وی برادران رایت را تشویق و راهنمایی می‌کرد.

رشتهٔ دیگر آزمایشها، مربوط به وسایل راندن هواپیما می‌شد. این آزمایشها به مدلهای کوچکی که با سیستمهای هوای فشرده، فنرهای ساعت یا کائوچویی حرکت می‌کردند آغاز شدند. از حوادث مهم آن شکستهای آقای کلمان آده است که غالباً به غلط وی را پدر هواپیمایی می‌نامند. آقای آده تعدادی موتور بخاری بسیار سبک ساخت که هنوز هم از شاهکارهای مکانیک هستند. اما اجاق آجری و کندانساتور، هواپیمای وی را فوق‌العاده سنگین کرده بودند و این سنگینی هم علاج‌ناپذیر بود. خطای دیگر آقای اده ناآگاهی وی از نخستین اطلاعات به‌دست آمده از آئرودینامیک در سطح هوا بر (هواشکن) بال هواپیما بود.

بالهای این دو وسیلهٔ ساخت سالهای ۱۸۹۰ و ۱۸۹۷، به‌شکل بالهای خفاش بودند و این آقای

1. Otto Lilienthal 2. P. S. Pilcher 3. Octave Chanute

مخترع امیدوار بود که لااقل از حرکت سبک بال زدن استفاده کند. وانگهی گویا وی از مشخصات لازم برای ملخهای هواپیما غافل بود. ملخهای وی از ریشه‌های پر چسبانیده شده روی دیرکهای چوبی ساخته شده بودند و نرمی سطح آنها کاراییشان را از بین برده بود.

آزمایشهای سیموئل پ. لنگلی[1] فیزیکدان امریکایی که به درستی درگردش سده، بین ۱۸۹۶ و ۱۹۰۳ انجام گرفته‌اند، اهمیتی از نوع دیگر دارند. آقای لنگلی با در نظر داشتن آموزشهای مربوط به پرواز با هواپیمای بی‌موتور، هواپیماهای ساخت خود را با موتورهای بنزینی مجهز ساخت. آخرین هواپیمای وی هم که با اندازه‌های واقعی اما بدون خلبان ساخته شده بود، پرواز کرد اما به‌هنگام آزمایش درهم شکسته شد. آقای لنگلی همچنین پایه‌گذار بررسیهای آئرودینامیکی در آزمایشگاه بود. افکار عمومی دربرابر شکستهای آشکار وی، دولت را برای تأمین هزینه‌های آزمایشهای وی در زمانی‌که با اسپانیا در جنگ بودند (۱۸۹۸) سرزنش می‌کرد. با این همه، اهمیت کارهایش بعدها در کشورش شناخته شد و نام وی بر مؤسسه تحقیقاتی National Advisory Commitee for Aeronautic، ۱۹۴۵، و نیز بر مؤسسه پیشنمونه ناسا: Langley Memorial Aeronautical Laboratory و نیز در ۱۹۲۲ بر نخستین ناو هواپیما بر نیروی دریایی امریکا گذارده شد.

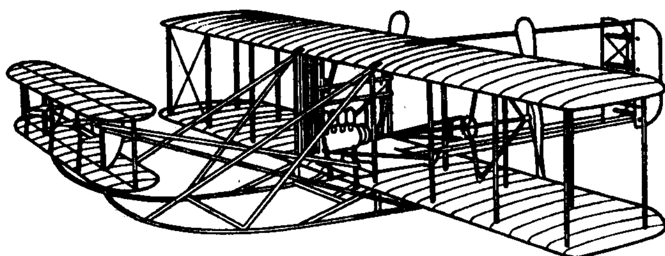
کارهای برادران رایت، درست همزمان با آزمایشهای لنگلی بود، و در دسامبر ۱۹۰۳ یعنی موقعی به نخستین موفقیت انجامیدند که تنها چند ماه از پایان گرفتن کارهای لنگلی می‌گذشت. این واقعیت که برادران رایت سازندهٔ دوچرخه بودند بی‌شبهه در موفقیت آنان بی‌تأثیر نبوده است. آنان با استفاده از یک موتور سبک ۱۵ اسبی و با آگاهی از شکل متناسب بال هواپیمای بی‌موتور، توانستند دشواریهای مربوط به اداره و انتقال حرکت به ملخها از طریق زنجیرهای دوچرخه، تکنیکی از ساخت را مطرح کنند که مدت پانزده سال، یعنی تا بلوغ صنعت هواپیماسازی، دست‌خوش هیچ تغییر بنیادی نشد: اسکلتبندی چوبی برای بالها و تنه، سطوح کشیده شده از پارچه‌های رطوبت‌ناپذیر و افرازش کششی شکل پره‌های ملخ از آن زمان تا کنون بدون تغییر مانده است (شکل ۳۵).

خود این وسیله واقعاً ساختهٔ برادران رایت بود. هواپیمای آنان از نوع دوبال و تقلیدی از هواپیما هارگریو بود؛ شکل بالها را با بررسیهای جریان باد تعیین کرده بودند ـ به‌طوری‌که می‌دانند نمایشهای آقایان ویلبر و اورویل رایت، نخست در فرانسه رقابتهایی را برانگیخت و آقایان آلبرتوسانتوس ـ دومونت و رقبای وی هواپیماسازی را تکامل دادند. از نخستین هواپیماسازان، آقایان لویی بلریو[2] و روبراسنوپلتری[3]

1. S. P. Langley

۲. L. Bleriot ۱۸۷۲ـ۱۹۳۶ خلبان فرانسوی، که در ۱۹۰۹ برای نخستین بار از فرازکانال مانش گذشت.

۳. R. Esnault-Pelterie ۱۸۸۱ـ۱۹۵۷ مخترع نخستین موتور ستاره‌ای با سیلندرهای فرد.



شکل ۳۵.هواپیمای برادران رایت (۱۹۰۳).
اهرم اوجگیری در جلو، و اهرم سمتگیری در عقب و موتور در وسط هواپیما تشخیص داده می‌شود.

از هواپیمای تک‌بال استفاده می‌کردند و آقای ژول و وازن با هواپیمای دوبال. جنگ میان هواداران این یا آن نوع بال هواپیما در طرز ساخت هواپیما هیچ تحولی به‌بار نیاورد و سازندگان هواپیما به تقلید از روشهای اجرایی سنتی در زمینه‌های دیگر ادامه می‌دادند: چرخ خیاطی در کارگاه با میز نجاری مجاور می‌شد، و آزمایشهای مقاومت با پرکردن بالها از کیسه‌های شن انجام می‌گرفت.

عامل نظامی: جنگ جهانی اول هواپیما را به‌طور کامل وارد کارزار کرد. این کار بی‌تردید بر این صنعت نوپا بیشتر اثر گذاشت تا بر صنایع تقریباً استقرار یافتهٔ اتومبیل‌سازی یا ارتباطات رادیویی، تا آن زمان، هواپیما در واقع، تنها یک وسیلهٔ سبقت و قهرمانی بود. جنگ به آن فرصتی داد تا امکانات کاربرد حمل و نقلی آن را در فواصل بین شهری پس از پایان کشمکشها بیازمایند. در همان حال که پیدایش و شکوفایی کارگاههای ساخت را تشویق می‌کرد در پرورش خلبانان زیاد در زمانی بسیار کوتاه هم موفق بود. وجود این کارکنان متخصص درواقع پس از جنگ یکی از عوامل مساعد برای تغییر دادنهای مجدد شکل هواپیما بود.

تقریباً همهٔ ملل اروپا که در جنگ ۱۹۱۴ وارد شده بودند نوعی تجهیزات مختصر هواپیمایی تشکیل داده بودند که به‌طورکلی وابسته به پیاده نظام بود و مأموریتهای شناسایی به آن محول می‌شد. در این زمان، ایتالیاییها برای نخستین بار، هواپیما را در عملیات نظامی سالهای ۱۹۱۱-۱۹۱۲ در مقابل ترکیه، برای تسخیر طرابلس که در آنجا مقاومت بسیار شدید بود، شرکت دادند.

فرانسه با ۱۳۴ فروند و آلمان تقریباً با همان تعداد هواپیما وارد جنگ شد. از همان آغاز ماه سپتامبر ۱۹۱۴ ستاد ارتش فرانسه از اطلاعات دریافتی از هواپیماهای شناسایی به قصد تدارک حملهٔ خود در مارن استفاده کرد. در زمان این جنگ از هواپیماها برای تنظیم تیر توپخانه و در

سال ۱۹۱۵ با مجهز شدن به مسلسل، جهت شکار کردن وسایل دشمن استفاده شد. سرانجام در آغاز سال ۱۹۱۸ زمانی‌که هجومهای بزرگ به دشمن آغاز شد (این زمان آخرین دوره جنگ بود) هواپیماهای شکاری بر علیه دشمن در زمین مورد استفاده قرار گرفتند و هواپیماهای بمب افکن نیز به میدان آمدند.

جنگ و نتایج آن: در چهار سال جنگ کار ساخت هواپیما چشمگیر بود. در پایان جنگ، فرانسه دارای ۷۳۰۰ هواپیما بود که ۳۹۰۰ فروند آن در جبهه بودند. این کشور در رشتهٔ هوانوردی زودتر از دیگر کشورها به‌کار پرداخت. تأسیسات کوچک نخستین آن، مؤسسهٔ هانری فرمن، برادران موران[1] که با سولنیه شریک شدند، آقایان گابریل و شارل و وازن، لویی بلریو و کمی پس از آنها نیوپورت[2]، دپردوسن[3] لویی برگه از فرصت جنگ برای توسعهٔ چشمگیر تأسیسات خود استفاده کردند. از همان سالهای نخستین مخاصمات، مؤسسات دیگری نظیر: شرکت اسپداندکودرون Spad & Caudron تشکیل شدند. آنها ارتشهای متفقین: انگلستان، بلژیک و روسیه را تغذیه می‌کردند و پس از آوریل ۱۹۱۷ امریکا تولید مدلهای آنان را عهده‌دار شد.

بریتانیای کبیر، حدود سال ۱۹۱۳، دارای چند مؤسسهٔ هواپیماسازی بود: جفری د هویلند[4]، فردریک هندلی پیج[5] و نیز نامهای ویکرز[6] و بریستول به مدلهای هواپیما بستگی دارند. در روسیه آقای ایگور سیکورسکی تا سال ۱۹۱۷ در این کار فعال بود. هواپیماهای ایتالیا کاپرونی[7] در مدت جنگ در امریکا ساخته می‌شدند. کشور آلمان تولیدات کارخانه رنه‌فوکر هلند را به‌دست آورد؛ کارخانهٔ هوگویونکرس آلمان از همان آغاز جنگ، تولید انبوه هواپیما را شروع کرد.

در مورد ممالک متحدهٔ امریکا باید گفت که گرچه دیر به‌کار ساخت هواپیما برای جنگ پرداخت اما در ایجاد چنین صنعتی در آن کشور بسیار جدی بود. این کشور برادران رایت، برخلاف آمادگی خود، نسبت به ساخت هواپیما بیش از ده سال بی‌علاقه ماند. جز مؤسسه رایت در سال ۱۹۱۷ تنها مؤسسه گلن کورتیس[8]، تأسیس ۱۹۰۸ در این رشته فعالیت داشت. طی جنگ مؤسسهٔ گلن مارتین[9] گشایش یافت و نیز کارگاههایی که مدلهای اروپایی می‌ساختند. همهٔ این مؤسسات اروپایی و امریکایی در پایان جنگ دارای مبانی صنعتی مهمی شده بودند، گرچه به‌علت کمی سفارش در خطر ورشکستگی بودند.

ساختمان هواپیماها بزودی براساس نوع مأموریت جنگی آنها متفاوت شد. در مورد موتورها، دیده شد، که بسرعت تقویت شدند و حال‌آنکه فن هوانوردی که بر اطلاعات بسیار موثق به‌دست

1. Morane 2. Newport 3. Deperdussin 4. Havilland Jeoffroy de 5. F. Handley Page 6. Vickers 7. Caproni 8. Glenn Curtiss 9. Glenn Martin

آمده از سالهای ۱۹۰۸ـ۱۹۱۰ مبتنی بود پیشرفت چندانی نیافت. اطلاعات موجود برای محاسبهٔ شکل بالها، تنه و فرمانهای مورد نیاز آن زمان کافی بودند.

گرچه بیشتر هواپیماها، بویژه نوع سبک آنها با پارچه پوشیده می‌شدند، نوع پارچه تغییر می‌یافت. در زمان جنگ الیاف طبیعی جای خود را به الیاف استاتی دادند و تولید فراوان آنها تأمین شد.

تحول وسایل فلزی تأثیر مهمی در ساخت موتور داشت، اما بخشهای دیگر هواپیما نیز از آن بهره گرفتند. در سال ۱۹۰۰ توسط فردیناندفون زپلین برای اسکلت هوابردهای فلزیش به‌کار گرفته شد. در سال ۱۹۰۸ به‌جای آن از دورالومین، آلیاژی از آلومینیم، مس و منیزیم استفاده شد که بتازگی ساخته شده بود. در ۱۹۱۳ هواپیماسازان استفاده از دورالومین را به‌جای چوب در هواپیما شروع کردند و این تمایل در سالهای جنگ به لطف امکانات سفارشهای فراوان ارتشها قوت گرفت. آلپاکس، آلیاژی از آلومینیم و سیلیسیم در سال ۱۹۱۵ ساخته شد، همین‌طور کوپرآلومینیم که خواص ریخته‌گری خوبی دارد و در برابر شکسته شدن بسیار پایدار است.

تولید این مصالح سبک جدید بنوبهٔ خود در گسترش مراکز هیدرولیکی در نواحی کوهستانی برای ایجاد برق لازم جهت رفع نیازهای جنگی مؤثر افتادند.

در دوران جنگ، آلومینیم در ساخت بالها و تنهٔ هواپیما با چوب شریک شد. شرکت هوگویونکرس در ۱۹۱۵ تک‌بالی فلزی ساخت که بال آن برای نخستین‌بار، نوعی تیر مشبک بود که به‌شکل معلق و بیرون زده سوار شده بود و فنرهایی تعادل آن را حفظ می‌کردند. مهارها و دکلهای بیرونی در هواپیماسازی دههٔ نخست سدهٔ بیستم که بسیار جالب بودند از بین رفته‌اند. دو سال بعد آقای فوکر، از این نمونه تقلید کرد، و در همان تاریخ در فرانسه هواپیمای برگه ۱۴، که یکی از بهترین مدلهای هواپیمای این زمان و سالهای بعد شناخته شد بدین کارُ دست زد. اما ساخت فلزی هنوز تکنیک دشواری داشت؛ هزینهٔ تولیدی آن بالا بود و تنها چند سال بعد توانستند آن را پایین آورند. می‌بایست تا سالهای ۲۱ـ۲۲ انتظار کشید تا جای روشهای ساخت سنتی را بگیرد و ساختمانهای پارچه‌پوش حذف شوند ـ کاری که در سال ۱۹۳۳ پس از ساخت بوئینگ B۲۴۷ انجام گرفت و ساختمان کاملاً فلزی به‌طور قطعی ساختمان فلزی ـ چوبی را کنار زد.

تغییر شکل دههٔ ۲۰: بدین‌ترتیب، صنعت هواپیماسازی پس از جنگ جهانی اول پایه‌های نیرومندی یافت، اما پس از پایان مخاصمات، بازارهای آن بنرمی کساد می‌شد. در همین زمان بود که تجربهٔ جنگ، تحقیق دربارهٔ کاربرد کشوری انواع هواپیماها را تشویق می‌کرد. هواپیماهای سبکی که خلبانان کار آزموده‌ای آنها را می‌راندند در نمایشهای آکروباسی، که تهورهای مورد نیاز زمان جنگ،

منشأ آنها بودند و نیز هنرنماییهای چند ساله، مردم را به استفاده از هواپیما تشویق کرد. زمینهای ویژه‌ای را در حومهٔ شهرهای بزرگ آماده کردند که بعضی از آنها اکنون به فرودگاه تبدیل شده‌اند و پایگاهی برای ترافیک بازرگانی هستند.

دورهٔ تازه دیگری از رقابت، اما در زمینه‌های دیگری غیر از دههٔ نخست سدهٔ بیستم، پیش آمد و آن ارتباط شهرهای بسیار دور از یکدیگر، سپس قاره‌ها با یکدیگر بود؛ رقابتی در فواصل چندین هزار کیلومتر. پروازهای چندین ده‌هزار کیلومتری در دههٔ ۲۰ جنبهٔ نمایشی داشتند. در همان زمان، نخستین روابط پستی برای کارکنانی که در مدت جنگ پرورش یافته بودند و نیز برای وسایلی که ساخت آنها ادامه داشت کار تهیه کرد.

دههٔ بیست نشان دیگری هم بر خود داشت و آن کوشش ثابت در کشف خطوط آینده، سازمان دادن خدمات منظم حمل‌ونقل نامه‌ها و سپس، مسافران بود. در اواخر سال ۱۹۳۰ پارک جهانی هواپیماهای کشوری تا ۴۰۰۰ فروند افزایش یافت. در این سال کل فواصل طی شده با هواپیما به ۱۱۵ میلیون کیلومتر و تعداد اشخاص جابه‌جا شده به ۷۷۶۰۰۰ نفر بالغ شد. آلمان در استفاده از هواپیمایی کشوری با ۴۰۶۰۰ کیلومتر در برابر ۳۵۰۰۰ کیلومتر فرانسه و ۳۸۰۰۰ کیلومتر ممالک متحدهٔ امریکا در پیشاپیش دیگر ممالک بود. ممالک دیگر، سرجمع مسافت طی شدهٔ آنها کمتر از ۲۰۰۰۰ کیلومتر بود.

اما در طی این دهه، مؤسسات امریکایی در نیمهٔ دوم این سده مطمئن شده‌اند، بیشترین بخش تولید هواپیما را از آن خود کردند. مؤسسه دانلدداگلس[1] که در سال ۱۹۲۰ از دل مارتین بیرون آمد، ویلیام بوئینگ در ۱۹۳۲، آلن لافهد[2] که نام خود را به لاکهید تغییر داد، و جان نورثروپ[3] در همین زمانها تأسیس شدند.

در اتحاد جماهیر شوروی [سابق] مؤسسه ا. ن. توپولف در سال ۱۹۱۹ ارباب بزرگ تولید هواپیما بود و با وجود مقداری کسادی ناشی از کمبود مسافر، مقام خود را نگاه داشته است. در سال ۱۹۲۴ نخستین هواپیمای فلزی روسیه را ساخت. در آلمان، مؤسسه ویلی مسرشمیت[4] در سال ۱۹۲۳ وارد همین جرگه شد.

هواپیمایی کشوری به این تحول بزرگ در ساخت که در گذر این دهه و دههٔ بعدی پدید آمده بود بسنده نکرد. در واقع همهٔ خطوط تحقیقاتی که گشایش یافتند یا در این دوران تقویت شدند محرک نظامی داشتند. در سال ۱۹۲۰ انواع هواپیماهایی که در ۱۹۱۸ ساخته شده بودند متروکه

1. Donald Douglas 2. Allen Loughead 3. Northrop 4. Willy Messerschmitt

ماندند، این تحول به همهٔ ارتشهای جهان فرمان داد تا وسایل هواپیمایی خود را نوسازی کنند. این ناگزیری به سود این صنعت بود و کوششها را برای تحقیق شدت بخشید. چرخه پیوسته‌ای پیدایش یافت که هنوز ادامه دارد. مرحلهٔ بسیار اخیر در آغاز سالهای ۵۰ با سرعتهای فراصوتی (سوپر سونیک) پدید آمد که ده سال بعد در هواپیمایی کشوری بازتاب یافت. سرعت یک ماخ در ۱۹۴۷ به‌دست آمده بود و دوماخ، در سالهای ۱۹۵۲ـ۱۹۵۳. زمانی‌که دشواریهای گذر از «دیوار صوتی» در سال ۱۹۵۶ برطرف شدند هواپیماهای فراصوتی ارتشی بسرعت تکثیر یافتند و در پایان دههٔ ۵۰ نخستین طرحهای هواپیماهای فراصوتی (سوپرنیک) کشوری آماده شده بود.

از همان سالهای پس از جنگ، هواپیما به کمپلکسی تبدیل شد، که ساخت و وسایل آن مستلزم پیدایش تخصصهای روزافزونی بود. برقکاران، سپس بیسیم‌چیان و پس از جنگ جهانی دوم کارشناسان الکترونیک به مکانیسین‌ها و متالورژها افزوده شدند و هر صنف، نظریه‌پردازان خود را داشت تا طرح کلی وسیله و جزییات هر یک از سازاهای آن را مشخص کنند، و نیز مهندسان ساخت و طبعاً کارکنان اجرایی در ردهٔ بالا به آن می‌پیوستند. درواقع، پیشرفت کلی تکنیکهای روز، در هر مرحله به ساخت مدلهایی فرمان می‌داد که مشخصات آنها همواره پیش‌افتاده‌تر از نسل هواپیماهای مشغول خدمت بودند.

مثلاً در هواپیماهایی که برای سرعتهای زیاد طراحی شده‌اند مواردی باید رعایت شوند، از قبیل: جمع کردن چرخهای فرود، پس از بلند شدن هواپیما، با سیستمهای فرمان بیش از پیش قوی و بدون نقص، بستن و قفل کردن درها با فرمانهای هیدرولیک، یا گرم کردن لبه‌های بیرونی بالها با گردش گازهای گرم فراری از موتور؛ زیرا در زمان پرواز در ارتفاع بالا با سرعت زیاد، یخچه‌ها و تراکم یخ پدید می‌آیند. همچنین باید از بهبود تأسیسات داخلی بمنظور رفاه مسافران و تأمین جای توشه‌ها یاد کنیم. این تحول، مثلاً در دههٔ ۳۰، ایجاد اتمسفر مناسب برای مسافران را ناگزیر ساخت. تنوع مصالحی که صنایع شیمیایی تولید فراوان آنها را آغاز کردند، تنها تغییر سبک و نوع اثاثه را موجب شد. شیشه‌ها و مواد سنتزی بی‌درنگ در صنعت هواپیماسازی به‌کار گرفته شدند و تکنیکهای کاربرد آن را تغییر دادند.

فلزات سبک: مصالحی که برای ساختن تنه، بالها، فرمانها و حتی موتور هواپیما به‌کار گرفته می‌شوند هنوز هم فلزی است. متالورژی آلومینیم و آلیاژهای آن از آغاز سدهٔ بیستم موضوع پژوهش دامنه‌داری بوده است که بخصوص از اواسط دههٔ ۲۰ به‌طور سیستماتیک انجام گرفته و همواره در پیشاپیش پیشرفتهای صنعت هواپیماسازی بوده است. از انواع تقریباً نامحدود آلیاژها که به تصور می‌آیند،

تعدادی از آنها برای بهتر شدن مشخصات فنی، روشهای آماده‌سازی، نوردکاری و پروفیل شدن و روشهای درمان مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. مثلاً در فرانسه، این خط ممتد تحقیقات که با ساخت برگه ۱۴ در ۱۹۱۷ آغاز گشت، هنوز هم برای دستیابی به گزینش آلیاژ مناسب ساخت هواپیمای فراصوتی کنکورد ادامه دارد.

در فاصلهٔ زمانی میان دو جنگ، این تحقیق با آلیاژ به‌اصطلاح ویکرز A-U4G شروع شد که بارگسیختگی آن به $۳۴ kgf/mm^2$ نمی‌رسید و در ۱۹۲۹ به نوعی دورالومین دست یافتند که این ضریب در آن از ۴۰ و ۴۵ فراتر می‌رفت و در ۱۹۳۷ آلیاژ A-U4GI تهیه شد که هنوز هم در ساختن هواپیماها کاربرد دارد. در سال ۱۹۵۰ بارگسیختگی به ۵۶ رسید و کمی پس از آن در امریکا آلیاژهایی ساخته شد که همین ضریب ۵۵ تا ۶۰ بود. آلیاژهای گوناگون آلومینیم که در آن زمان تهیه می‌شدند همگی دارای ۲/۵ تا ۶٪ مس و علاوه‌بر آن حاوی یک یا چند تا از فلزات: منیزیم، آهن، نیکل، لیتیم، منگنز، کادمیم، تیتان، واناديوم، زیرکونیم به نسبتهای ۰/۱۵ تا ۰/۲ از پنج فلز آخری و ۱/۱ تا ۱/۵ از بقیه بودند.

روشن است که چه میدان گشاده‌ای از امکانات در برابر متالورژها باز شده بود تا فلزی انتخاب شود که مشخصات مکانیکی، شیمیایی و گرمایی آن مناسب شرایط کاربرد مورد نظر باشد. نه‌تنها به تحقیقات در مورد مرز کشسانی ادامه داده شد، بلکه تغییرات آن طی مدت زیاد در معرض گرما بودن هم مورد بررسی قرار گرفت. برای هواپیمای کنکورد، آزمایشها به مدت ده‌هزار ساعت در دمای ۱۳۰ درجه انجام می‌گیرند و خواص خزشی، یعنی انبساط طولی در اثر گرما و باری که فلز متحمل می‌شود تعیین می‌گردد. ساختار بلورهای میکروسکوپی فلز، یعنی وجود بلورهای ریزی که از اجتماع شیمیایی فلزات زیاد موجود در آلیاژ تشکیل می‌شوند، موضوع مشاهده‌های دقیقی از انواع این ساختار در جریان مراحل آماده‌سازی و کاربرد بوده است.

مشکلات مربوط به گرم شدن با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده در هنگام بررسی رفتار ماهواره‌ها در موقع بازگشت آنها به جوّ زمین حل شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که برای هواپیمایی با گستردگی بال کنکورد، اگر قرار باشد سرعت سریعاً به‌حدود ۱/۸ ماخ برسد و مدت چند ساعت با ۲/۲ ماخ پرواز داشته باشد، مشکلات گرم شدن در اثر حرکت، اهمیت زیادی خواهند یافت.

گرچه پروازهای هواپیماهای فراصوتی ارتشی، اطلاعاتی به‌دست آورده‌اند، آنها باید در ارتباط با بررسیهای ساختمان و شکل هواپیما، بال دلتایی شکل، خطوط حمله و فرار آن، و نیز، شمار زیادی مشکلات دیگر هوانوردی از نوع جدید، به مقیاس دیگری انتقال داده شوند. سرانجام، انتخاب

متالورژها برای آلیاژی با درصد کم مس، منیزیم، نیکل و آهن در فرانسه و آلیاژ A-U2GN بود و در انگلستان RR58. دربارهٔ این انتخاب باید گفت که پنج سال متوالی تحقیق، محاسبه و آزمایش برای رسیدن به نتیجهٔ دلخواه، پشت سر آن بود.

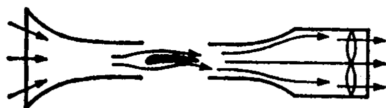
امریکاییها در آغاز بررسیهای یک طرح حمل‌ونقل فراصوتی، در اندیشه کاربرد تیتان به‌عنوان فلز بودند که در آن زمان در ساخت هواپیماهای جنگی و بخشهایی از رآکتورها به‌کار گرفته می‌شد. پایه‌گذاران این طرح، ساخت هواپیمایی را هدف قرار داده بود که با سرعت سه‌ماخ پرواز کند. ارزیابی هزینهٔ ساخت، سبب کنار گذاشته شدن طرح شد. انگلیسیها و فرانسویان بسرعت ۲٫۲ ماخ قناعت کردند، زیرا علاوه‌بر انگیزه‌های دیگر، آلیاژ A-U2GN امکان ساخت این هواپیما را با هزینهٔ قابل قبول فراهم می‌ساخت.

در پایان نباید از یاد برد که گرچه متالورژی آلومینیم، در اثر نیازهای پابرجا و تکرار شدنی به ساخت هواپیما، ناگزیر از تکمیل روشها و فراورده‌های خود شده است، همهٔ رشته‌های صنعتی دیگر نیز دستاوردهای جدید خود را مورد استفاده قرار می‌دادند.

در محدودهٔ چنین تألیفی، ورود در جزئیات چگونگی آزمایشهایی که در جریان گسترش ساخت هواپیما انجام گرفته‌اند، مطلقاً ممکن نیست. برای اینکه تصوری از کل زمانی که وقف این کار شده و وسایلی که برای آن ساخته شده است داده باشیم نگاهی به بررسیهایی می‌افکنیم که از همان آغاز، شکل خام کل طرح را تعیین کرده‌اند و بیش از پیش همهٔ مراحل ساخت را تا مرحلهٔ آزمایش پرواز همراهی می‌کنند.

آزمایشهای آئرودینامیکی و تونل هوا: بنیاد آگاهیهای نخستین دینامیک سیالات در پایان سدهٔ هفدهم گذاشته شد، برخی کارهای هویگنس، ماریوت و نیوتن، مبانی توضیح مقاومتی را که جسمی که در سیال جابه‌جا می‌شود، متناسب با وزن و ساختار خود و نیز وزن مخصوص سیال با آن برخورد می‌کند فراهم ساختند. از همان مراحل نخست فضانوردی می‌دانستند که مقاومت هوا از دو نیرو مایه می‌گیرد، مقاومت جبهه‌ای و نیروی خیزدهنده یا بالا ران، که در نقاطی که نیرو بر آنها وارد می‌شود گشتاورهایی ایجاد می‌کنند. لازم بود که وسایلی برای اثبات ریاضی و تجربی این اطلاعات داشته باشند تا بتوان خط سیر و ثبات وسیله و مقاومت مصالحی را که در ساختن هواپیما به‌کار برده شده است پیش‌بینی کنند.

آقای لیلینتال در ۱۸۶۶ مؤلفه نخست را برای نگاهداری عناصر مسطحی که به آنها به توسط یک اسبگرد حرکت دورانی القا شده است اندازه گرفت. چند سال بعد وی سطوحی را که به‌شکل



شکل ۳۶.تونل هوای نوع ایفل.

بال پرندگان تهیه شده بودند در باد طبیعی بررسی کرد و در ۱۸۸۹ توانست مقاومت جبهه‌ای و نیروی خیزدهنده و گشتاور شیرجه رفتن آنها را اندازه بگیرد.

در همان‌زمان آقای فیلیپی[1]، در ۱۸۸۴ با ایجاد یک جریان گازی بوسیلهٔ بیرون دادن هوای فشرده، نخستین تونل هوا را ساخت و در سال ۱۸۹۶ آقای رنار، در ۱۹۰۲ آقای رایت، و در ۱۹۰۹ آقای راتو از بادبزنی استفاده کردند که هوا را در لوله‌ای می‌دمید. آقایان استانتون[2] در ۱۹۰۳، آقایان ایفل و پرانتل[3] در ۱۹۰۹ هر یک منفرداً از بادبزنی استفاده کردند که هوا را از خروجی لوله‌ای می‌مکید.

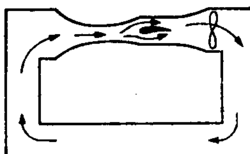
آقای ایفل درگذر این کارها تونل هوا را چنان ساخت که هنوز هم تغییری نیافته است. وی در مدخل آن یک کولکتور و یک رگه هوای با فشار گذاشت و در انتهای تونل یک گلویی و یک هواکش (شکل ۳۶).در آن زمان می‌دانستند که خط سیر جریانهای هوایی که یک ماکت را دور می‌زنند مستقل از اندازهٔ ماکت است و مشخصات هواپیما را می‌توانستند از راه تجربه کردن مدلهای کوچک در تونل هوا به‌دست آورند. همچنین فرمولهای کلاسیک تصحیح را برای منظور داشتن این واقعیت که شباهت میان پرواز و تونل هوا دقیق نیست به‌کار می‌گرفتند.

روشهای دیگر آزمایش در همین زمان تجربه شدند. آقایان ایفل‌وریث[4] از ۱۹۰۲ تا ۱۹۰۵ سقوط اجسام را در طول یک کابل عمودی کشیده شده بین طبقه دوم برج ایفل و سطح زمین مطالعه می‌کردند. کمی بعد در انستیتوی آئروتکنیک سن ـ سیر که در سال ۱۹۱۱ به توسط هانری دویچ دولامورت[5] تأسیس شد برای جابه‌جا کردن سریع اجسام مورد تحقیق، از گردونه‌ای که روی ریل حرکت می‌کرد، استفاده کردند.

این روش برخلاف روش پیشین هنوز در مطالعهٔ پدیده‌های پیراصوتی (ترانس سونیک)، صندلیهای بیرون پرتاب شونده، شتابگیری موتورهای موشکها، آثار برخورد یا ضربه و غیره، در چندین صدمتر به‌کار گرفته می‌شود.

اصل تونلهای هوا، که پیش از جنگ جهانی اول به‌کار گرفته می‌شد در فاصلهٔ بین دو جنگ، تقریباً بدون هیچ دستکاری، مورد استفاده قرار می‌گرفت. هرچند که سرعت هواپیماها پیوسته افزایش

1. Philippi 2. Stanton 3. Prandtl 4. Rith 5. Henri Deutsch de La Meurthe



شکل ۳۷.تونل هوا با گردش پیوسته، برای تحقیق دربارهٔ سرعتهای فراصوتی.

می‌یافت باز به‌طور چشمگیری پایین‌تر از مرز زیرصوتی (سوبسونیک) بود و تنها تحول تونل هوا، زیاد شدن ابعاد آن بود.

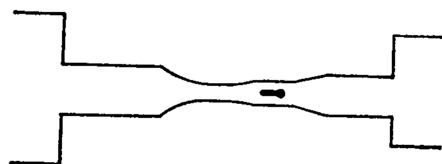
بررسی سرعت فراصوتی: با این‌همه طرحهای هواپیماهای شکاری جدید، بررسیهای اولیهٔ جریانهای فراصوتی، راکه در انتهای پره‌های ملخ گردندهٔ با سرعت زیاد، ایجاد می‌شد ناگزیر ساختند. حدود سال ۱۹۳۵ برای این بررسی تونلهای استوانه‌ای هوا با ابعاد دو تا سه متر ساخته شد که در آنها جریان هوا تقریباً بسرعت صوت می‌رسید، سپس در ازای کاهش اندازه تا چند دسیمتر و حتی سانتیمتر بسرعت فراصوتی دست یافتند.

در زمانی‌که تجربه‌گری، انگیزهٔ ساخت وسایل تحقیق دربارهٔ سرعتهای فراصوتی شد، تئوری آن از مدتها پیش توسط ریاضیدانان ساخته و پرداخته شده بود. آقای برنهارد ریمان[1] در سال ۱۸۶۰ «روش کار اکتریستیکها» را و در ۱۸۸۴ آقای‌آرگونیو[2] ریاضیدان فرانسوی راه‌حلی برای مسائل موجهای ضربه ارائه داشت. اما در این دوران و تا دههٔ ۱۹۴۰ تنها توپچیان و کارشناسان بالیستیک می‌توانستند پدیده‌های فراصوتی را بشناسند.

اما وضع در سالهای بعد از جنگ جهانی دوم تغییر کرد. همان‌طورکه می‌دانیم، موتورهای جت به هواپیماها امکان دادند بسرعتهای زیرصوتی (سوبسونیک) دست یابند، درحالی که موتورهای موشکها، سرعت ابر صوتی (هیپرسونیک) را آزمایش می‌کردند. آماده‌سازی چنین طرحهایی، تحول تونلهای آزمایشی هوا را در دنبال داشت. تونل نوع ایفل برای تأمین یک چرخهٔ بسته، که گاز پیوسته در آن گردش داشته باشد، دستکاری شد (شکل ۳۷).قوانین مکانیک سیالات، محاسبه محل ماکت را در یک محل واگرا، نه دیگر در یک غلاف تنگ، برای کار کردن در سرعتهای ماخ، بین ۱/۲ و ۴، یعنی ۱۴۴۰ تا ۴۸۰۰ کیلومتر در ساعت (هر ماخ = ۳۴۰ متر در ثانیه) معین کردند.

برای بررسی موتورهایی که قرار است فراصوتی (بیش از چهار ماخ) داشته باشند باید افزون بر نیروها و گشتاورهای آئرودینامیکی، پدیده‌های گرم شدن در حرکت را، که برخاسته از جریان سیال در

1. Bernhard Riemann 2. Hargoniot



شکل ۳۸.تونل تندبادی، برای تحقیق دربارهٔ سرعتهای ۵ تا ۱۰ ماخ.

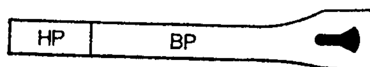
طول دیواره‌هاست، منظور کرد. باید سیستمهایی از شبیه‌سازی «دماهای متوقف» را در نظر گرفت.

راه‌حلهای متعددی به تناسب بازهٔ عدد ماخی که در آن می‌خواهند پرواز کنند یافت شد. در مورد یک بازهٔ ماخ از ۵ تا ۱۰، برای تحقیق دربارهٔ مقاومت هوا، به نوعی تونل به اصطلاح تندبادی روی آوردند (شکل ۳۸).در یک سر این رگه هوای با فشار، مخزن بزرگی گذاشته شده است که محتوی گاز تحت فشار است و در سر دیگر آن یک مخزن دارای فشار کم. ماکت در محل ورودی واگرا قرار دارد. برای آزمایش در دماهای بسیار بالا، حدود ۸۰۰۰ درجه، در سرعت نزدیک به سه ماخ از یک تونل هوای ضربهٔ دیوار صوتی استفاده شد که مخزن دارای فشار کم در دنبال مخزن گاز تحت فشار گذاشته شده بود و غشایی که پاره شدن آن، دو مخزن را سریعاً به یکدیگر مرتبط می‌کرد، آنها را از یکدیگر جدا ساخته بود (شکل ۳۹).

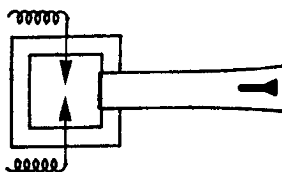
با تونلهای هوای ضربهٔ دیوار صوتی و نیز با ضربهٔ بازگشتی هوا تونلهای اخیر بر همان اصل تونلهای ضربهٔ دیوار صوتی ساخته می‌شود؛ و کارشناسان، توانستند به چندین (مثلاً ۲۰) ماخ سرعت دست یابند، اما در شرایطی که دما بسیار پایین و در ردیف ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه بود.

برای تجربه در چند ماخ و دماهای بسیار بالا، ۱۵ تا ۲۰ ماخ و دمای ۶۰۰۰ درجه، تونلهایی ساخته شد که مخزن آن به توسط غشایی بسته شده بود و یک قوس برقی در آن دما، و به‌دنبال آن فشار گاز را یک باره بالا می‌برد (شکل ۴۰).

سرانجام تونلهای ویژه‌ای برای مطالعهٔ مشکلات موشکهای در حال پرواز در ارتفاعات زیاد باید ساخته می‌شد. برای این کار از یک جریان گاز با چگالی بسیار کم، جهت ایجاد شرایط موجود در حرکت در اتمسفرهای بالا، استفاده شد.



شکل ۳۹.تونل هوای دارای غشا، برای تحقیق در دماهای بالا.



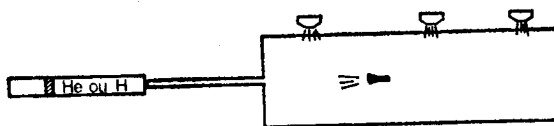
شکل ۴۰.تونل هوا با قوس برقی، برای تحقیق در سرعتهای ۱۵ تا ۲۰ ماخ و دماهای بسیار بالا.

بررسیهایی که در تونل هوا انجام گرفتند طبعاً همراه با ثبت اطلاعاتی بود که می‌خواستند، و با کمک وسایلی بود که در جاهای معین ماکت را قرار می‌دادند و به ابزارهای اندازه‌گیری وصل می‌کردند و خطوط هوا در اطراف ماکت را به توسط تزریق دود یا گازهای رنگی در رگه هوا و عکسبرداری، به‌طور مستقیم مشاهده می‌کردند.

در سطوحی از تحقیق، وجود قطعه‌ای، مزاحم آزمایش می‌شد، و آن چیزی جز پایهٔ ماکت نبود زیرا این قطعه، جریان سیال را مختل می‌ساخت و نیز واکنشهایی بین ماکت و پایهٔ آن پدید می‌آورد که اندازه‌گیریها را غلط می‌کرد. ایستگاههای آزمایش، تونلهای شلیک ساختند که ماکت در آنها با سرعتی برابر ۵۰۰۰ متر در ثانیه (در فرانسه)، و ۸۰۰۰ متر در ثانیه (در امریکا) پرتاب می‌شد. این پرتاب بوسیلهٔ یک «توپ گازی» انجام می‌گرفت که در آن یک خرج باروتی، پیستونی را جابه‌جا می‌کرد تا یک گاز سبک، نظیر هلیم یا هیدروژن، در استوانه‌ای که با یک غشای بسته شده است تا ۱۲۰۰۰ اتمسفر فشرده شود (شکل ۴۱).پاره شدن غشا، ماکت را پرتاب می‌کرد و در تمام طول مسیر، عکسبرداری می‌شد.

پیراصوتی (ترانس سونیک): در پایان این تحول سی‌سال شبیه‌سازی تجربی جریانهای گاز بر انواع هواپیماها و وسایل پرتاب شونده، سفینه‌های فضایی با وسیله‌ای مجهز شدند که امکان می‌داد از پدیده‌های برخاسته از طبقات مختلف سرعت، آگاهی کاملی به‌دست آید.

این تأسیسات در دوران ما نیازی به تکامل ندارند. سفینه‌های فضایی که سرعتهای ابر صوتی



شکل ۴۱.توپ گازی، برای تحقیق دربارهٔ ماکتهای بدون پایه و دارای سرعت زیاد.

را مطرح ساخته‌اند با پایان برنامه‌های بزرگی نظیر جمینی و آپولو به تکاملی دست یافته‌اند که طی آنها سرعتهای بسیار زیاد در دسترس خواهند بود.

در مورد نیاز به هواپیمایی زیرصوتی یا فراصوتی، تأسیسات فعلی تا زمانی، کافی هستند که صنعت فضا نوردی، دیگر نتواند لااقل به‌طور موقت به علل اقتصادی، طرحهای بزرگ را مورد مطالعه قرار دهد. در حال حاضر، همهٔ هواپیماهای کشوری، در دو دههٔ اخیر، انواع کاراول، بوئینگ یاداگلس را به خدمت گرفته‌اند، و آنها با سرعتهای زیرصوتی بالا، حدود ۸۰۰ کیلومتر در ساعت پرواز می‌کنند. هر دو نوع هواپیماهای کشوری فراصوتی Tu۱۴۴ و کنکورد با سرعت دوماخ پرواز می‌کنند و هواپیماهای جنگی با سرعتهایی بسیار زیادتر. اما مرحله‌ای از سرعت که هنوز بدون استفاده مانده است پیراصوتی (ترانس سونیک)، ۰٫۸ تا ۱٫۲ ماخ است. زیرا با اوضاع و احوال ناشناخته و بحرانی در آئرودینامیک سروکار دارند. ورود بسرعت پیراصوتی برای هواپیماهایی که از آن ناگزیرند، بسرعت تمام امکان دارد، گرچه هیچ هواپیمایی از چنین سرعتهای مطلوب (سرعت با در نظر گرفتن مقدار سوخت) استفاده نمی‌کند.

بررسی جریان پیراصوتی فعلاً یک دلمشغولی جهانی است. این کار پایه‌گذار طرح یک تونل پیراصوتی در اروپا شده است که تکنولوژی ساخت آن هنوز دشوار می‌نماید زیرا این تونل بسیار بزرگ، چهار کیلومتر طول و هشت متر قطر، یا چهارصد متر طول و ۱۶ متر قطر خواهد داشت، و این یک زمینهٔ مطالعاتی برای آینده است.

نمونه‌های گفته شده، تنها یک انتخاب از ساختهای متعددی هستند که هوانوردی از آغاز پیدایش تا زمان معاصر از آنها یاری گرفته است. با این همه، کافی است بدانیم که شکوفایی هواپیمایی ثمرهٔ پیشرفت پیوسته دانشها و تکنیکهای سدهٔ بیستم است.

وسایل کشاورزی

کشاورزی مدت زیادی بدین علت که تکنیکهای ویژهٔ آن با وجود تغییر شکلهای عمیقی که از اواسط سدهٔ هجدهم متحمل شده بودند، منظرهٔ سنتی خود را حفظ کرده بودند، دربرابر صنعت قرار داشت. اما جنبشی که در بریتانیای کبیر پدید آمد، همان‌طورکه می‌دانیم، با کندی بسیار به اروپا نفوذ کرد. حتی در ممالک متحدهٔ امریکا که راهیابی به غرب، سطح کشت را در آنجا بسرعت افزایش داد، کشاورزی تنها از وسایل بسیار کمی از صنعت، و باز هم از آن کمتر، از دانش بهره گرفت.

این شرایط در طی نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم شروع به تغییر کردند. تولید گاوآهن و وسایل دیگر

آماده‌سازی خاک، صنعتی شد. وسایل گوناگون دستی کشاورزی، نظیر ماشینهای بوجاری، کاه خردکن، ریشه خردکن، که در مقیاس صنعتی ساخته می‌شدند نخستین مظاهر مکانیکی شدن کارهای دستی بودند. سرانجام، پس از چند آزمایش بدون نتیجه در بریتانیای کبیر، نخستین ماشینهای وجین‌کاری و درو در امریکا، کمی پیش از ۱۸۵۰ ساخته شدند (رجوع کنید به، مجلد سوم، صفحهٔ ۶۹۹).

پیشرفتهای مکانیکی شدن تا پایان این سده بسیار آهسته بود. وانگهی دیدیم که آزمایشهای مربوط به شخمزنی به کمک لوکوموبیل و بعداً، موتورهای برقی، تنها به چند تجربهٔ بدون پشتبند محدود شد. بعدها خواهیم دید که چگونه از زمانی‌که انرژی حیوانی جای خود را به انرژی مکانیکی داد، این حرکت سرعت زیادی گرفت.

اما عوامل مؤثر در این روند، بسیار زیادتر بودند که یکی از آخرین آنها که در پایان جنگ جهانی اول، با توانایی بسیار پدیدار شد، کمبود کارگر کشاورزی بود. در گذشته، روی آوردن به ماشین در ممالک متحدهٔ امریکا به‌علت گستردگی زمینهای زیر کشت تحمیل شده بود و چند کشور دیگر، کانادا، نیز به همین علت به آن گرویدند.

مزیت داشتن زمینهای وسیع و تولید بسیار متراکم در قارهٔ اروپا با پیشرفت وسایل حمل‌ونقل افزایش یافت. دادوستد فراورده‌های کشاورزی در پرتو راه‌آهن وکشتیهای بخاری از پایان سدهٔ نوزدهم، جنبهٔ بین‌المللی گرفت و همین روند در مورد دامپروری پدید آمد. وسایل انبارداری و نگاهداری ساخته شدند و در سراسر سدهٔ بیستم اهمیت آنها افزایش یافته است. تراکم شبکه‌های راه‌آهن نیز مهاجرت روستاییان را به شهرها چنان آسان کرد که این دو اثر تواماً مکانیزاسیون کارهای کشاورزی را به پیش راندند.

دستاوردهای تحقیقات علمی درکشاورزی نیز در نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم به ثمر نشستند. نخست زیست‌شناسی گیاهی بود که بعضی پدیده‌ها تثبیت نیتروژن جوّی بوسیله سبزیجات را توضیح داد و استفاده از فراورده‌های شیمیایی طبیعی یا صنعتی را به‌عنوان رشوه به زمین پایه گذارد. رشته جدید آگرونومی به بررسی ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی خاکها، شرایط حاصلخیزی و احیای آنها پرداخت. کار برزگر گرچه آهسته بود، تغییر برگشت‌ناپذیری یافت و این گرایش از اواسط سدهٔ بیستم سرعت گرفت. یکی از آخرین دستاوردهای اساسی دانش در تکنیک کشت و دامپروری، رشتهٔ ژنتیک است. کارهای اولیهٔ این رشته را آقای گرگور مندل در ۱۸۶۵ انجام داده بود؛ اما مدت سی‌سال توجهی به آن نشد. کشفیات شمار زیادی از زیست‌شناسان، از جمله آقای هوگو دووریس[1]

1. Hugo de Vries

هلندی در حوالی سال ۱۹۰۰، در این رشته، در سال ۱۹۱۱ به نظریهٔ ژنهای کروموزومی تامس ه. مورگان امریکایی انجامید.

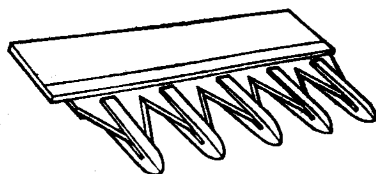
حدود سال ۱۹۱۰، برای به‌کارگرفتن آگاهیهای نخستین جهت بهبود گیاهان کاشته‌شده و ایجاد انواع تازه‌ای از آنها که محصول بیشتری بدهند و از نظر نگاهداری و مصرف کیفیت بهتری داشته باشند، ایستگاههای تحقیقاتی تأسیس شدند. اما در گذشته،در پایان سدهٔ نوزدهم، کار تحقیقات دربارهٔ هیبریداسیون انواع ذرت، در امریکا آغاز شده بود.

سرانجام کشف و تولید صنعتی حشره‌کشها و آفت‌کشها که دربارهٔ آنها در مجلد چهارم، صفحات ۸۰۲ ـ ۸۰۳ سخن گفته‌ایم، در نگاهداری کشتهایی که کاربرد آنها با سرعت زیاد، بویژه پس از جنگ جهانی دوم رواج گرفت، بسیار مؤثر افتادند.

مجموعهٔ این وسایل جدید که در طی حدود یک سده کم‌وبیش با سرعت تکمیل شدند، تولید و بهترسازی کشتهای خوراکی و مواد خام گیاهی عملیات صنعتی را بیش از پیش به یکدیگر نزدیک ساختند و گسترش ماشینیسم بیش از پیش پیشرفته‌ای را تحمیل کردند. آنها هستند که بر تحول پیوستهٔ ساختار وسایل کشاورزی فرمان رانده‌اند.

کشت غلات: ماشینهای درو و وجین، در نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم، پیشرفت کندی داشتند. ساختمان آنها خطوط مشترکی داشت و شانه به شانهٔ هم تکامل یافتند. در دوران تحقیقات برای یافتن راه‌حلهای کارآمد، مدلهای متعددی از آنها ساخته شدند. آنهایی که تولیدشان در مقیاس صنعتی شروع شد، از یک بدنهٔ مالبنددار نصب شده روی یک چرخ بزرگ فلزی تشکیل می‌شدند؛ طوقهٔ چرخ خطوط برجسته‌ای داشت که با خاک، محکم درگیر می‌شد. چرخ دیگری که کوچکتر بود، معمولاً در انتهای تیغهٔ برش نصب می‌شد و ثبات آن را تأمین می‌کرد. این تیغه، به پهلو و عمود بر بدنه باز شده و سطح بزرگی در زمین را می‌روبید. این تیغه، قسمت ثابتی به شکل ناودانی داشت که حامل انگشتیهایی عمود بر جهت حرکت وسیله بود تا ساقه‌ها را قطع کنند و نیز پشتوانهٔ فشار تیغه‌ها باشند. قسمت متحرک وسیله، یک تیغه با دندانه‌های اره‌ای بود که در ناودانی حرکت متناوبی داشت (شکل ۴۲).این وسیله را آقای اوبد هاسی ساخته بود و بعدها عملاً هیچ اصلاحی در آن راه نیافت.

دستگاه درو غلات، صفحهٔ مستطیلی شکل بود که ضلع بزرگ آن موازی تیغهٔ برش بود، و نیز وسیله‌ای، با چهار پرهٔ افقی که یک گردندهٔ افقی آنها را حمل می‌کرد. با نخستین مدلهای این ماشین که اسب آنها را می‌کشید، دروگران همراه آن ماشین حرکت می‌کردند و یکی از آنها ردیف

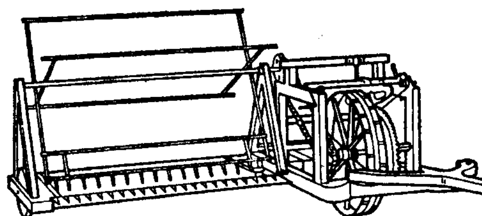


شکل ۴۲.تیغهٔ برش، ساخت اوبد هاسی (Obed Hussey).

چیده شده را به توسط یک شنکش دستی روی زمین تحویل ماشین می‌داد. پس از اندک مدتی شنکش روی ماشین نصب شد و مثل دیگر قطعات متحرک، به کمک جعبه دنده‌ای چرخ عقب آن گردانیده و معمولاً با نقاله‌های زنجیری فعال می‌شد(شکل ۴۳). برای بافه کردن خوشه‌ها با دست، روی زمین، حداقل به کار شش یا هفت کارگر نیاز بود تا آهنگ کار ماشین دنبال شود.

موفقیت ماشینهای اولیهٔ دروگر، انگیزه پیدایش کارگاههایی بود، که معمولاً خود مخترعان با وسایل مختصری در آنها کار می‌کردند. اما پس از مدت کوتاهی، آن کارگاهها اهمیت بزرگی یافتند. چون بعضی از اختراعات ثبتی با بهای گزافی دادوستد می‌شدند، شمار این مخترعان بسیار بود و وسایل پیچیده‌ای ساخته می‌شد که سینماتیک، نقاط مرگ زیادی در آنها را نشان می‌داد. این وسایل برای کارکردن رضایت بخش روی زمین، یا بسیار حجیم یا بسیار شکننده بودند. در خلال این راه‌حلهای گذرای فراوان، هدفهای تعقیب شده، در طی بیست‌سال نخستین به‌کارگیری، مشخص شدند. این هدفها متوجه تمرکز تعداد هرچه بیشتر عملیات، روی ماشین بود تا تعداد دروگرها کاهش و سرعت کار افزایش یابد.

پس از مدت بسیار کوتاهی، روی شاسی برای راننده یک صندلی نصب شد. با به کارگرفتن چدن و آهن، سبک کردن ماشین امکان نداشت تا اینکه در اواخر سدهٔ نوزدهم فولاد به‌مقدار زیاد



شکل ۴۳.ماشین دروگر امریکایی (سالهای ۱۸۴۰).

و با بهای نزدیک به آهن در دسترس قرار گرفت.

نخستین عملیاتی که با این ماشین انجام گرفت، در حدود سال ۱۸۷۰ـ۱۸۷۵، و دسته کردن خوشه‌های گندم بود. این راه‌حلها را برادران مارش[1] در برهۀ ۱۸۵۷ـ۱۸۷۵ یافته بودند. آنان صفحه‌ای به دروگر افزودند که دو کارگر روی آن قرار می‌گرفتند و یک شنکش خودکار و تسمه گردانی، ردیف چیده شدۀ خوشه‌ها را در برابر آنها، روی میز دسته‌کنی قرار می‌داد. بافه‌ها بار وسیله‌ای می‌شدند که به‌دنبال این ماشین حرکت می‌کرد. برای دسته کردن خودکار خوشه‌ها، آزمایشهای متعددی در همان دوره انجام گرفت، که نخست با سیم آهنی و بعد با ریسمان بود.

حدود بیست سال باید می‌گذشت تا آقای جان فرنسیس اپلبی[2] امریکایی بتواند دسته کردن خودکار را بوسیلۀ موتوری تأمین کند که در اوایل سالهای ۸۰ در مقیاس صنعتی ساخته شد. در این دوران چندین مؤسسه بزرگ سازندۀ این وسیله در ممالک متحدۀ امریکا وجود داشت، اما در اروپا این صنعت هنوز پا نگرفته بود.

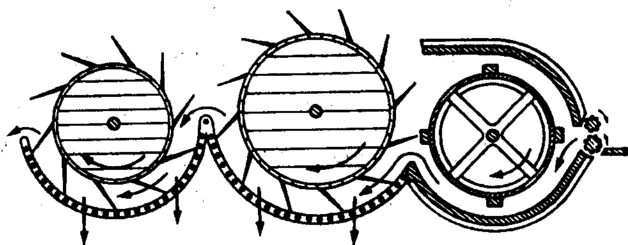
مرحلۀ بعدی، کامل کردن ماشین دروگر با یک دستگاه خرمنکوب بود تا دانه‌ها و کاه را جدا از هم تحویل دهد. اما این کار در زمانهای بسیار بعد، یعنی زمانی به کمال رسید که دشواریهای نیروی محرک به‌مقدار بسیار زیادی برطرف شده بود.

مشکل ذرت: ذرت در بین غلات، این امتیاز را دارد که ساقۀ آن بسیار بلند، (بیش از دو متر) و سنبله‌اش بسیار بزرگ و متورم شونده است؛ و این خصوصیات، روش ویژه‌ای برای کشت را ناگزیر می‌سازد. پیش از ساخته شدن نخستین ماشینها، برای اینکه قطع خوشه‌ها آسان گردد، به فکر بستن تیغه‌های برنده‌ای به پای کارگر افتادند. ساقه‌ها در ارابه‌ای روی هم انباشته و منتقل می‌شد.

ماشینهای اولیۀ درو کننده مناسب این محصول نبودند و ماشینهای مخصوص این کار، بعدها یعنی زمانی ساخته شد که کشت ذرت روی به گسترش نهاد و کارهای هیبریداسیون ـ که در سالهای ۱۹۲۰، زمینۀ کشاورزی و تجارتی یافت ـ شروع شد.

اختراع یکی از ماشینهای اولیه برداشت ذرت را آقای ریچارد هـ. مورو[3] در ۱۸۸۶ به ثبت رسانید. مکانیسم این ماشین بسیار پیچیده بود اما طی سالهای ۱۸۹۰، بخصوص به همت آقای چارلز س. شارپ[4] تکمیل شد و ساختمان آن تا امروز ـ لااقل در قسمت دسته کنندگان عمودی ـ تقریباً هیچ تغییری نیافته است. ماشینهای برداشت ذرت درواقع بی‌درنگ با وسیلۀ دسته کردن مجهز شدند. این وسیله با دو نوک پیشامدۀ خود در انتهای بازوهای خمیده، ردیفهای محصول

1. Marsh 2. J. F. Appleby 3. R. H. Morrow 4. Ch. S. Sharp



شکل ۴۴.اصول ماشین خرمنکوب میکل.

را از یکدیگر جدا و به‌هم می‌فشردند و با کارد کوتاهی آنها را قطع می‌کردند. حرکت این وسیله، طبعاً به کمک اسب بود مکانیسم قطع و تخلیهٔ خوشه‌ها به طرف عقب، جنب شاسی چرخ کشنده، رانده شده بود. این نوع ماشین مدتها در تیول ممالک متحدهٔ امریکا باقی ماند و اروپا از پذیرفتن آن سر باز زد.

بیش از سی‌سال بعد، حدود ۱۹۳۵ بود که نوع دیگری ماشین ساخته شد که خوشه را از ته ساقه از خاک بیرون می‌کشید بدون اینکه آن را قطع کند. این ماشین با نام **Corn – picker** شهرت یافت و در سال ۱۹۵۵ به‌عنوان یک وسیلهٔ نیم‌سوار، سبک و قابل انعطاف پذیرفته شد. ده سال پس از آن، این وسایل دارای موتور و لاجرم خودرو و با وسایل هیدرولیکی انتقال حرکت، برای تنظیم و فرمان مانوور مجهز شدند. برداشت محصول هنوز در شکل خوشه انجام می‌گرفت و روی ماشین حتی برگهای آن را می‌کندند. اما پس از اندک مدتی ماشینی ساخته شد که یک خرمنکوب داشت تا در مزارع بزرگ، برداشت را در شکل دانه انجام دهد.

خرمنکوبها: نیاز به تعویض خرمنکوبهای سنتی از نیمهٔ دوم سدهٔ هجدهم آشکار شده بود. پس از چندین اقدام بی‌ثمر، مبانی حل قطعی آن را یک آسیاب‌ساز اسکاتلندی به نام اندرومیکل مطرح ساخت. وی توانست نخستین ماشین خود را در ۱۷۸۶ بسازد (شکل ۴۴).

خوشه‌ها روی میز کجی چیده می‌شدند و یک جفت غلتک تغذیه، آنها را به سمت طبلکی که دارای چهار تخماق که به ترتیب دینامهای خود مرتب شده بودند می‌راندند. خوشه‌ها از بالای طبلک، از دهلیز تنگ سرپوش استوانه‌ای آن می‌گذشتند.

مخلوط دانه، کاه، گلوله‌ها و خوشه‌های کوبیده ناشده، خوشه‌های نارس، روی یک غربال جدا کننده هدایت می‌شدند؛ سپس کاه روی لرزنده‌ای فرستاده می‌شد تا دانه‌هایی که با خود آورده است از آن جدا شوند.

در زمان اختراع میکل، تکنیک سازندگان آسیابها که براساس چوب بود به ساخت وسایل سنگین و جاگیری منجر شده بود که قابل حمل نبودند. در نخستین بخش سدهٔ نوزدهم، این وسیله، سبک و این مکانیسم متحمل چندین اصلاح شد تا بتواند بهتر از گذشته کاه را از دانه جدا سازد. کاسه‌ای که طبلک را به‌طور کامل می‌پوشانید، جانشین کاپوت بالایی شد و محصول به پایین هدایت گردید تا به زیر خرمنکوب رانده شود. این ماشین که چرخدار شده بود و می‌توانستند آن را به محلهای مناسب خرمنکوبی جابه‌جا کنند، در طی نیم سده در قارهٔ اروپا راه یافت؛ از سوئد وارد فرانسه شد و چندین سازنده، مدلهای گوناگونی از آن ساختند که با حفظ اصول اساسی تا حدود زیادی از مدل میکل فاصله گرفته بودند. مدلهای تکمیل شده هنوز هم فعالیت دارند. ماشینهای بسیار بزرگ، در طول فعال بودند، یعنی محصول موازی با محور خرمنکوب، عرضه می‌شد، تا کاه خرد نشود. خرمنکوبی در مدلهای کوچک، در انتها انجام می‌گرفت.

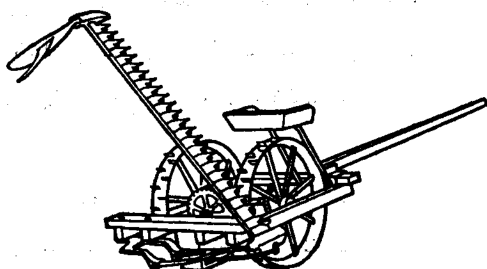
سیستمهای جداسازی و تمیزکاری غلات، بخوبی تکمیل شدند. لرزنده‌های میکل جای خود را به تسمه‌های گردان دارای خانه‌هایی در زیر همزنهای دوار، در ماشینهای امریکایی یا به لرزنده‌های گردان، در بعضی از ماشینهای انگلیسی واگذاشتند. در دورانی نزدیک‌تر به ما، همهٔ ماشینها، از جمله ماشینهای دروگر- خرمنکوب، با لرزنده‌های مشبک دارای حرکت رفت و برگشتی مجهز شده بودند. وسایل تمیز کاری، بوجاری، دمها، خارج‌کنندگان دانه‌های نارس و کاه، خردکنندگان کاه یا دسته کنندگان خودکار متدرجاً به این ماشین اضافه شدند.

آماری از سال ۱۸۵۸، که بی‌شبهه تقریبی است تعداد خرمنکوبها را در فرانسه ۵۸۴۰۰ ماشین اسبی، ۱۵۳۰ بخاری و ۲۰۰ عدد آبی اعلام می‌کند. آمار دیگری از ۱۸۹۲، رقم ۲۳۵۰۰۰ خرمنکوب را می‌دهد.

وضع‌نیروهای محرکه در محل خرمنکوبی، درواقع آزادی جابه‌جاسازی را محدود می‌ساخت تا آنکه لوکوموبیل رفته رفته با گذشت سراسر نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم رواج گرفت. شمار سازندگان این وسیله نیز مرتباً افزایش می‌یافت. در نمایشگاه عمومی پاریس، در ۱۸۶۷ شمار آنها را ۴۸ مؤسسه اعلام کردند که مهمترین آنها **Ransomes & Sins** در انگلستان و **Albaret** در فرانسه بود. نمایشگاه سال ۱۹۰۰ بیشترین تعداد سازندگان را در یک جا گرد آورد، اما این ماشینها تنها اصلاحات جزئی به خود دیدند. ساخت خرمنکوبهای مکانیکی در سال ۱۸۳۴ در ممالک متحدهٔ امریکا با ابتکار هایرم[1] و جان پیتس[2] با همان طرزی که در اروپا عمل شده بود به پیش رفت.

برای نصب ماشین بخار روی خود دستگاه، اقداماتی شد. اما این مجموعه بزرگتر از آن شد که

1. Hiram 2. John Pitts



شکل ۴۵.ماشین وجین با تیغهٔ خم شونده (سالهای ۱۸۵۰).

بتوان آن را آسان جابه‌جا کرد؛ در نتیجه حدود سال ۱۹۱۰ از بین رفتند، در آن زمان لوکوموبیل، حدود بیست سالی رواج کلی داشت. این وسیله امکان می‌داد که خرمنکوب در کشتزارهای مجاور هم جابه‌جا شود و خرمنها را بکوبد. لوکوموبیل زمانی‌که برق در روستا راه یافت رفته‌رفته کنار گذاشته شد، زیرا کاربرد موتورهای بزرگ برقی فراهم آمده بود. این موتورها از نو روی این ماشین نصب شدند. گسترش موتورهای درونسوز و بویژه دیزل، برای کشاورزی، سرانجام، در سالهای ۱۹۵۰، این خرمنکوبهای ساده و سبک را به خرمنکوبهای کنونی تکامل بخشید.

وسیلهٔ وجین: ماشین علفزنی همزمان ماشین درو بود، زیرا همان‌طورکه گفته‌ایم، قطعات اصلی آنها مشابه است. در سال ۱۸۵۰ علفزنهایی ساخته شد که کارد آنها مفصلی بودند و می‌شد آن را به تناسب شیب زمین پایین آورد و برای حرکت در بیرون از کشتزار آن‌را بالا برد (شکل ۴۵).

این دستگاه (علفزن اسبی) که با ساخت تمام فلزی و ساده کردن مکانیسمهای کشش تیغهٔ برش (که در اوایل بسیار پیچیده بود) سبک شده بود، علفزنهای اسبی، حدود پایان سدهٔ نوزدهم ساخت بسیار کلاسیکی یافت که توانست بیش از نیم سده دوام آورد. این دستگاه همین‌که ساده شد آن را برای حرکت ماشین آماده کردند؛ نخست بوسیلهٔ تراکتور، بعد بوسیلهٔ مالبندی به‌اصطلاح «سه اتصالی» و سرانجام در تراکتور، بین چرخهای جلو و عقب، گذارده شد.

به‌طور سنتی پس از وجین، می‌گذارند علفها خشک شوند، طی این مدت حدود ۷۵٪ آب علوفه با کارهای دستی گرفته می‌شود. طبیعی است که با برش مکانیکی، تلاشی هم برای خشکاندن مکانیکی علوفه انجام گرفته باشد. نخستین دستگاههای خشک‌کنی دوار در اواسط سدهٔ نوزدهم، طبلکی بود که روی توپی دوچرخ نصب می‌شد و دندانه‌های سختی داشت. رفته‌رفته مکانیسم این وسیله تکمیل شد و در اواخر سدهٔ نوزدهم، وسیله‌ای با شنکشها و چنگالهای دندانه‌دار پیچیده‌ای

ساخته شد که تا آغاز موتوری شدن این وسیله‌ها، فعالیت داشتند. سیستمی از چرخدنده، معکوس شدن جهت گردش شنکشها را ممکن می‌ساخت. در همین زمان در امریکا خشک کننده‌هایی ساخته شد که چنگکهای آنها مفصلی بودند و این مکانیسم می‌توانست حرکت یک چنگک دستی را تکرار کند.

انواع وسایل مکانیکی خشکانیدن در سالهای ۱۸۸۰ـ۱۹۰۰ ساخته شدند که به‌عنوان نمونه می‌توان از: خشک کننده بافه پیچ، و شنکش با تخلیهٔ متناوب یا با تخلیه پیوستهٔ جانبی نام برد. این دستگاهها حدود سال ۱۹۵۰ به‌عنوان نسلهای تازه‌ای ساخته شدند و سازندگان آنها برای ساختن شنکشهای آفتابی، شنکشهای با پیشامدگی جانبی، شنکشهای پاشنه گرد، دستگاههای بوجاری، جهت و سرعت گردش طبلک را دستکاری می‌کردند.

روش دیگری از درو، برداشت سبز بود که در اواخر سدهٔ نوزدهم پدید آمد. علف سبز به‌شکل جوانه‌های دراز روی هم انباشته شده را خرد، و در زیرزمین انبار می‌کنند، در طی دههٔ ۳۰ وسیله‌ای ساخته شد که در همان مرحلهٔ علفزنی، کار ساطوری شدن را هم انجام می‌داد. پس از گذشت مدت کوتاهی، نوعی ماشین دروگر ـ انبار کننده در امریکا ساخته شد. این ماشین بسیار پیچیده بود زیرا علاوه‌بر تیغهٔ برش، بوسیلهٔ تغذیه طبلکی دارای کاردکهایی با آرایش مارپیچی برای ساطوری کردن، و دمی برای بار زدن مجهز شده بود. در آغاز سالهای ۵۰ سازندگان آن، دستگاهی ساختند که بسیار ساده‌تر بود و کار بارزنی آن را، یک روتور دارای دسته‌های مفصلی انجام می‌داد که حول محوری عمود بر حرکت طولی ماشین با سرعت زیاد می‌گردید.

موتوری کردن مراحل اولیه: آخرین نوع این وسایل، مانند مورد دروگر ـ خرمنکوب، تنها زمانی رواج گرفت که مسألهٔ موتوری کردن آن به‌شکل رضایتبخشی حل شد. در واقع از نخستین دهه‌های سدهٔ بیستم، ساخت وسیلهٔ کشاورزی بستگی بسیار زیادی به حل این مسأله داشته است.

در مرحلهٔ نخست، کار موتوری کردن، به‌طور ساده، شامل تعویض کشش حیوانی با کشش موتوری بود. این مرحله، همین‌که لوکوموبیل در دسترس قرار گرفت، شروع شد.

در سال ۱۸۳۳ در لندن شرکتی برای تشویق تودهٔ مردم به استفاده از نیروی بخار، جهت حمل‌ونقل به‌طورکلی و بویژه در امر کشاورزی تأسیس شد. حدود سال ۱۸۵۰ نخستین لوکوموبیل‌هایی به بازار آمدند که وسایل نصب شده در خود، بیل و کلنگ، بیل یا گاوآهن گردان را فعال می‌ساختند؛ اما این وسیله، لااقل در کشاورزی، آینده‌ای نداشت.

شخمزنی با نیروی بخار، موفقیت بیشتر، اما زودگذری داشت. برای بستن گاوآهن به پشت

لوکوموبیل فعالیتی نشد، زیرا وزن آن زمین را می‌شکست، اما در فکر استقرار لوکوموبیل در حاشیهٔ کشتزار، به حالت ثابت و کشیدن گاو آهن به توسط کابلی که روی یک سیم جمعکن می‌پیچید بودند. اقدام اول در این راه به سال ۱۸۳۹ برمی‌گردد و به توسط آقای مک رو[1] در انگلستان انجام گرفت. این کار به کمک ماشین بخاری که روی یک کشتی شناور در کانالهای هر سوی کشتزار گذاشته می‌شد اجرا شد. آزمایشگران دیگری از یک سیستم کابلی استفاده می‌کردند که کشتزار را دور می‌زد و روی یک سیم جمعکن بخاری، که ثابت بود می‌پیچید.

در سال ۱۸۵۴ آقایان فاولر[2] و هوارد کارهای بسیار جالبی را به نمایش گذاردند. آقای فاولر از لوکوموبیلی استفاده کرد که در طول کشتزار از یک شیار به شیار دیگر جابه‌جا می‌شد و در همان حال، در سوی دیگر، چهارچرخه‌ای حامل یک فلکهٔ افقی برای جمع کردن کابل بود. گاوآهن، طرح خود فاولر بود و بعدها در موقعیتهای دیگری زیاد به‌کار گرفته می‌شد، نوعی گاوآهن چندخیشی با خاکبر گردان بود. سیستم آقای هوارد پیشرفته‌تر می‌نمود، ولی کار کردن با آن بی‌شبهه دشوارتر بود. این سیستم با ماشین ثابت و درجا انطباق داشت و در این مورد یک لوکوموبیل، کابل تکی با فلکه‌های واگشتی در هر شیار، کشتزار را جارو می‌کرد. این سیستم بازهم به توسط سازندگان گوناگون فرانسوی تکمیل شد. یکی از مهمترین سازندگان این زمان برای همهٔ وسایل کشاورزی، مؤسسهٔ آلباره[3] بود. همچنین در حوالی ۱۸۶۵، بیش از ۵۰۰ مؤسسهٔ دیگر از این نوع فعالیت داشتند. سیستمهای گوناگون کابلی لااقل تا آغاز سالهای ۱۹۳۰، بویژه برای کارهای بهبود خاکها فعال بودند. آنها بعدها ناچار در برابر تراکتور میدان را خالی کردند.

گفته‌ایم که در آن زمان همین اصول، اما با موتور برقی، به‌کار گرفته شد. این وسیله فقط می‌توانست در اختیار مالکان عمده قرار گیرد؛ اما هر قطعه زمین، ابعاد نسبتاً محدود خود را حفظ کرده بود. این وسیله، هنوز برای همهٔ اشکال و نوع زمین آمادگی نداشت. از این وسیله برای مساحتهای بزرگی، در حدود کشتزارهای امریکا هم نمی‌توانستند استفاده کنند.

وانگهی، به‌محض اینکه موتورهای درونسوز در دسترس قرارگرفت، سازندگان امریکایی کوشیدند تا آن را با وسایل گوناگون، نخست برای کشش تطبیق دهند. نخستین تراکتور کشاورزی را، بی‌تردید، شرکت J. I. Case در سال ۱۸۹۲ در امریکا ساخته است. تراکتورهای این زمان وسایلی به سنگینی بیش از یک تن بودند و موتور بنزینی آنها ۸ تا ۱۰ اسب قدرت داشت و می‌توانست گاوآهنی را با سرعت ۲ تا ۳ کیلومتر در ساعت برای شخم زدن بکشاند. لازم بود که طوقه‌های چرخ آن برای اینکه حرکت به پیش تضمین شود با بستهای آهنی مجهز شوند.

1. Mac Roe 2. Fowler 3. Albaret

ساخت وسایل موتوری کاشت و گاوآهنهای موتوری در سال ۱۹۰۰ شروع شد. آنها ۵ تا ۱۰ تن سنگین بودند و با موتورهای کند، ۷۰۰ دور در دقیقه، با توان ۵۰ تا ۷۰ اسب مجهز بودند. در نمایشگاه سال ۱۹۰۰ پاریس، شرکتهای Mc Cormick, Deering یک وجین کن موتوری به نمایش گذاردند.

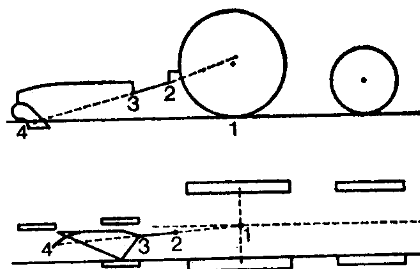
تراکتورها: نخستین تراکتورهای بنزینی، سنگین و گران‌قیمت بودند و نگاهداری آنها پرهزینه بود. کاربرد آنها در طی دهۀ این سده، بویژه در ممالک متحدۀ امریکا بتدریج منسوخ شد. تراکتورهای بخاری، ساده‌تر و محکمتر بودند و تا حدود ده سال ساخته می‌شدند و تنها در سالهای ۲۰ در امریکا و در سالهای ۳۰ در فرانسه از دور کنار گذاشته شدند. باید گفت که لوکوموبیل‌ها برای این‌چنین کششی به‌کار گرفته نمی‌شدند، اما به‌عنوان منبع متحرک انرژی برای کار کردن ماشینهای کشاورزی، بویژه خرمنکوبها از آنها استفاده می‌شد.

نوعی از تراکتورهای سبک بنزینی در امریکا پدید آمد که ساختمان آن بی‌درنگ متحمل اصلاحات متعددی شد. تراکتور سه چرخ گوجیس[1] که انتقال نیرویی مستقل از کشش داشت، یکی از نخستین مدلهای این نوع بود که مشتریان زیادی یافت. آقای فورد در ۱۹۱۵ ساخت این وسیله را عقلایی کرد و توانست بهای فروش آن را به کمتر از ۱۰۰۰ دلار برساند؛ و این تدبیر رواج زیاد این وسیلۀ جدید را به‌دنبال داشت.

یکی از مشکلاتی که در این زمان باید حل می‌شد، درگیر شدن وسیله با زمین زیر کشت بدون افزایش چشمگیر وزن آن بود. در سال ۱۹۰۴، آقای‌هولت[2]، ماشین‌ساز امریکایی که دستگاه خود را که بعدها کاترپیلار نام گرفت با زنجیر (شنی) و بنه‌ای در جلو چرخهای حرکت‌دهنده مجهز کرد. این نمونه در فرانسه و انگلستان اقتباس شد، اما این تراکتورها بیشتر برای ارتش مفید بودند تا کشاورزی. پس از جنگ جهانی اول که با کاربرد متراکم تراکتور در سالهای پایانی همراه بود. کارخانۀ رنو که تولیدات جنگی خود را به ماشینهای کشاورزی شنی‌داری تبدیل کرد که تا سال ۱۹۲۶ ادامه داشت.

جالب‌است که طی کار مدید، شنیها تنها دستخوش اصلاحات کوچکی شدند. اما کاربرد آنها برای تراکتورهای کشاورزی، با پیدایش تایرهای کم فشار در سالهای ۱۹۳۰_۱۹۳۵، که سازندگان را ناگزیر به ساخت مدلهای ویژۀ ماشینهای کشاورزی کرد، بسرعت کاسته شد. در زمانی نزدیکتر به ما، طی دهۀ ۶۰، لاستیکهای دارای ساخت شعاعی و نیز لاستیکهای به اصطلاح **Stabilarge** که هر دو نوع تنها

1. Gougis 2. Holt



شکل ۴۶. مالبند سه اتصالی فرگوسن

۱. اتصال به تراکتور؛ ۲.اتصال به قلاب تراکتور؛ ۳. اتصال به قلاب گاوآهن؛ ۴. مقاومت جنبش در خاک. نقاط ۲، ۳، ۴، باید در یک خط قرار گیرند و محل نقطهٔ ۲ متناسب با نقطهٔ ۱ تعیین می‌شود

تا ۸۰۰ گرم بر سانتیمتر مربع باد می‌شدند، بهترین راه‌حل این مسأله را به‌دست دادند.

عوامل دیگری در کاربرد بسیار فراوان تراکتور، سهیم بوده‌اند. بیشترین این عوامل، در فاصلهٔ زمانی بین دو جنگ پدید آمدند، اما تنها در دههٔ ۵۰ کاملاً به‌کار گرفته شدند.

در سال ۱۹۲۰ آقای هری فرگوسن[1] در ایرلند سیستمی برای اتصال یک گاو آهن را مورد بررسی قرار داد که در ۱۹۳۶ به نتیجه رسید. این نوعی مالبند سه اتصالی بود که با یک اهرم برگشت با فرمان هیدرولیکی دارای کنترل نیرو ترکیب شده بود (شکل ۴۶).در سال ۱۹۳۹ این سیستم فرگوسن وارد امریکا شد و راه‌حلی برای مسألهٔ اتصال همه نوع وسایل آن‌روز کشاورزی بود. این سیستم متحمل چند اصلاح، از جمله استفاده از بار لحظه‌ای سیستم International Harvester شد که تا حدود ۱۹۶۵ رواج داشت. در این زمان فرمان دهی با نیروی هیدرولیک تابع دو عامل بود، موقع و نیرو. طرح آقای فرگوسن که در ابتدا تنها در وسایل بسیار سبک و کم توان، با کنترل نیرو بوسیلهٔ میله‌ای در بالای مالبند انجام می‌شد برای انواع تراکتورها، حتی قویترین آنها که تیغه‌های بلند و سنگین داشتند بسط داده شد، کنترل آنها بوسیلهٔ دو میلهٔ پایینی مالبند انجام می‌گرفت.

تثبیت تراکتور کشاورزی با پذیرش موتور دیزل که در سالهای ۱۹۵۰ موتور بنزینی را بکلی از دور خارج کرد، قطعی شد. دیزلی کردن تراکتورها با کاربرد موتورهای نیم‌دیزلی، در فاصلهٔ زمانی بین دو جنگ شروع شد. سپس، قبل از اینکه جنگ دوم جهانی شعله‌ور شود. امریکا، استفاده

1. Harry Ferguson

از موتور دیزلی را آغاز کرد. در اوایل، دیزل بسیار گرانتر از موتور بنزینی با همان قدرت فروخته می‌شد ـ موتوری با سروصدای کمتر و بسیار ظریف، که هزینهٔ نگهداری آن بیشتر بود ـ اما پیشرفت سریع آن، رواجش را در کار کشاورزی در اواخر سالهای ۴۰ تضمین کرد. در فرانسه، از سال ۱۹۵۶ فروش تراکتورهای دیزلی کشاورزی از تراکتورهای بنزینی بیشتر شد. حدود ۱۹۶۰ فروش تراکتورهای نیم‌دیزلی بسیار اندک بود. در ۱۹۶۸ تعداد تراکتورهای بنزینی فروخته شده، از جمله تراکتورهای باغستانی با قدرت کم، از ۲٪ فروش کل کمتر بود. البته باید توجه داشت که قوانین مربوط به تثبیت بهای سوختهای کشاورزی، در سطح یک سوم بهای بنزین بدون مالیات در این جهش تأثیر مطلوب داشته است.

در طی همین دوره برای انتقال حرکت، وسایل مکانیکی دیگری به‌کارگرفته شدند. حدود سال ۱۹۵۴ اینتر نشنال هاروستر سیستمی از انتقال متغیر ساخت که فقط دو سال قبل از سیستمهای ساخته شده در اروپا به بازار آمد. با استفاده از جعبه دنده توانستند سرعتهای بسیار کم لازم برای بعضی از کارها را داشته باشند. هر دو سرعت مسیر، همزمان شده بودند. تراکتورها علاوه‌براین، مجهز به وسایلی برای بارزنی فوری شدند، بدون اینکه تراکتور توقف کند و یا روی کلاچ اصلی فشار وارد آورند. در آن زمان سرعتهای مختلفی در دسترس بود و گاهی مسألهٔ عقب رفتن یکباره لازم می‌شد. فرمانهای مختلف هیدرولیکی به‌کار گرفته شدند، نظیر سیستمهای multipower طرح شرکت Massey-Ferguson یا سیستم amplimatic اینتر نشنال هاروستر. مرحلهٔ بینابینی چرخدنده‌های پینیونی و انتقال پیوستهٔ حرکت، که به‌طورکلی هیدروستاتیکی بود جعبه دنده‌های نیم‌خودکار با ردیف اپیسیکلوئیدی (برون‌چرخزاد) پر شده بود.

انتقال نیرو نیز موضوع اصلاحات جدیدی شد. اندازه و طرز کار آنها، هنجاردار شدند. انواع گوناگونی از آنها ساخته شد؛ تأثیر آنها می‌توانست متناسب یا مستقل از سرعت پیشروی باشد. سیستمهای نیم مستقل ساخته شدند، نوعی کلاچ‌گیری مضاعف در دو موضع و با یک پدال، توقف تراکتور را بدون اینکه انتقال نیرو متوقف شود ممکن می‌ساخت، اما نه در حرکت به عقب.

دستگاههای مجتمع: ابزارهای وابسته، روشنایی برقی، راحت بودن اتاقک راننده و امنیت، شرایط کار کشاورزی را به‌طورکلی تغییر دادند. اما مرحلهٔ پایانی مکانیزاسیون، در دو دههٔ اخیر، با مجهز شدن تراکتور با وسایل گوناگون و بویژه با ماشینهای برداشت، کمال یافت. درگذشته کمباین دروکننده ـ کوبنده، وجین کننده ـ خرمن کننده و غیره بوسیلهٔ تراکتور مجزایی کشیده می‌شدند. سرعت جابه‌جایی و کار، نسبتاً محدود بود. با آغاز دههٔ ۵۰ و با استفاده از وسایل متعددی که سازندگان طرح کردند،

همهٔ این ماشینها خودرونده شدند و یک واحد منفرد موتوردار را تشکیل دادند. در سال ۱۹۵۶ در ممالک متحدهٔ امریکا ۲۰۰۰۰۰ دستگاه کمباین فعالیت می‌کردند.

این‌جهش جدید، اگر در تقریباً همهٔ انواع کشت، غلات، ذرت، پنبه، علوفه، چغندرقند، سبزیجات و غیره، عمومیت یابد بسیار جالبتر خواهد بود. همهٔ کارهای برداشت و آماده‌سازی که درگذشته درکشتزار و روستا انجام می‌گرفت، از این پس به توسط تنها یک واحد کار، در همان زمان برداشت انجام می‌گیرد. طبعاً سودبخشی مربوط بسرعت کار، امکان آماده‌سازی دشتهای وسیع و محصولی فراوان، سرمایه‌گذاری را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. چشم‌انداز کنونی مکانیزاسیون، در توسعهٔ جنبهٔ صنعتی کشاورزی و از بین بردن همهٔ خصایص سنتی تأثیر داشته است.

وسایل شهرسازی و جابه‌جایی

درفرصت کوتاهی که در اینجا برای بررسی پیدایش این صنعت جدید در طول سالهای ۱۸۶۰ـ۱۸۷۰ و گسترش سریع آن پس از جنگ جهانی اول داریم، ناگزیر باید توجه خود را به اهمیتی که این رشته در نیمهٔ دوم این سده به‌دست آورد و تأثیر آن بر نو شدن اسلوب زندگی روزمره معطوف سازیم. پیدایی ساختمانهای بسیار بزرگ، پس از جنگ جهانی دوم، درکشورهایی، جانشین محلات شهری خراب شده در جنگ و حتی گاهی محلات قدیمی، که هنوز زندگی در آنها دلچسب بود، بمنظور آماده کردن برای طرز دیگر زندگی، یکنواخت و بی‌هویت برای شماری افراد عالیمقام معاصر ما در همهٔ کشورها شدند. ایجاد وسایل مکانیکی ساختمان، سریع و اقتصادی، حتی اگر سرجمع هزینه‌ها برای ساختن خانه‌های بسیار مجهز، دفاتر، کارخانه‌ها، آپارتمانها گاهی هم بالا باشد، صنعت ساخت وسایل، نوعی یکسانی اجراها در همهٔ قاره‌ها را پدید آورده است. بزرگراهها و راههای اکسپرس، انشعابها، خیابانها، مغازه‌ها، خانه‌ها، در بیشترین بخش سطح زمین، به‌طور ملال‌انگیزی از رونق افتاده بودند. مهارتها، تکنیکهای اجرایی ویژه، سبکهای محلی، که در طی نیمهٔ نخست سدهٔ بیستم، بی‌رنگ شده بودند، به‌طور کامل نابود شده‌اند؛ اگر در یک خانهٔ ملکی با آنها روبه‌رو شویم، چیزی جز تکرار شمار محدودی از مدلهای بنیادی نیست که در همه‌جا اجرا می‌شوند.

این همسانی، در چارچوبی ازگوناگونی کاملاً همگرا، تأثیر تحول نوعی زیبائی‌شناسی کاملاً از خود راضی در معماری است، گرچه آب‌شخور در عوامل تکنیکی دارد. در مجلد سوم این مجموعه نخستین نشانه‌های این جهش را با کاربرد فلز، چدن، آهن، فولاد در ساخت پلها، ایستگاهها و

سالنها، ساختمانهای تجاری یا مسکونی، همچنین استفاده از بتون مسلح، دیدیم. بعدها مصالح دیگری به آنها افزوده شد که به آنها خواهیم پرداخت. اما علاوه‌براینها، استادکاران وسایلی برای کارهای محکمتر و سریعتر در اختیار داشتند که کاربردی انعطاف‌پذیرتر و اقتصادیتر از آن داشت که تنها امکان فراتر رفتن از ابعاد، ارتفاع و دهانه دو ستون و غیره را بدهد. این وسایل که اساساً مکانیکی بودند با تغییر دادن منظره کارگاهها نسبت به آنچه که در پایان سدهٔ نوزدهم وجود داشت، تقریباً همهٔ ترتیبات ساختمانی عصر ما را، که درگذشته تنها برپایهٔ محاسبات کلاسیکی بودند برای همیشه در انقیاد عملیات مکانیکی قرار دادند. وسایل مکانیکی گرچه ساختمانهای بیش از پیش مرتفع و بزرگ را ممکن ساختند، امکان استفادهٔ کامل از آنها درگرو آمیختن هنر معماری با تکنیک مهندسی در طرح نخستین کارها و نیز ساختمان آنها بود.

درست است که آنان می‌توانستند رفتار تاریخی معکوسی را در پیش گیرند؛ اما شوق و ذوق سازندگان در مسیر تحول وسایل بالابری و جابه‌جاکننده بود و سازندگان وسایل خود را پیوسته تکمیل می‌کردند زیرا بازارهای مطمئنی از تقاضاهای مؤسسات، پشت سر آنها وجود داشت. درواقع این جنبش برپایهٔ همکاری پیوستهٔ رشته‌های بزرگ متعددی از کارها نضج گرفته بود، زیرا باید سطح تکنیک بالابرندهٔ کمی و کیفی و پیوستهٔ ظرفیتهای تولیدی، سیدرورژی، متالورژی فلزات ناآهنی، تأسیسات برق، تولید موتورهای درونسوز و نیز وسایل فرمان و خودکاری و غیره را به حساب آورد. این خصیصهٔ بالا رفتن کلی سطح تکنیک، ویژگی این رشته نیست، و همان‌طورکه تاکنون بارها از آن سخن گفته‌ایم، این یک قانون کلی همهٔ تکنیکهای پیچیده‌ای است که پایهٔ تولید و مصرف عصر ما را تشکیل داده‌اند ـ گرچه در رشتهٔ ساختمان و شهرسازی این خصیصه نمایانتر است زیرا آثار آن هر روز در پیش دیدگان ماست.

این رشته ساختمان مکانیکی که تولید وسایل بالا بردن و جابه‌جا کردن را تشکیل می‌دهد، چشم‌انداز یک تحول بسیار ویژهٔ گذر از یک تکنیک سنتی به تکنیک معاصر است، و همانند رشته‌های دیگر، ورود به یک مرحلهٔ تحولی پیوسته پیشرونده است که پس از توقفی کوتاه مربوط به تحول نیروهای محرکه و وسایل کار، ادامه یافته است.

ماشینهای بخار: در اواسط سدهٔ نوزدهم، وسایل سنتی به توسط انرژی عضلانی انسانها یا حیوانات جابه‌جا می‌شدند. ماشینهای ساده، اهرمها، میل‌لنگها، پرسهای عصاری و قفسهای استوانه‌ای و غیره از سده‌ها پیش به‌کارگرفته می‌شدند و جابه‌جایی توده‌های قابل چشمگیری را ممکن ساختند. این نوعی اقتضای زمان، هوشمندی و رنج کارگرانی بود که هنوز فراوان بودند و مزد کمی دریافت

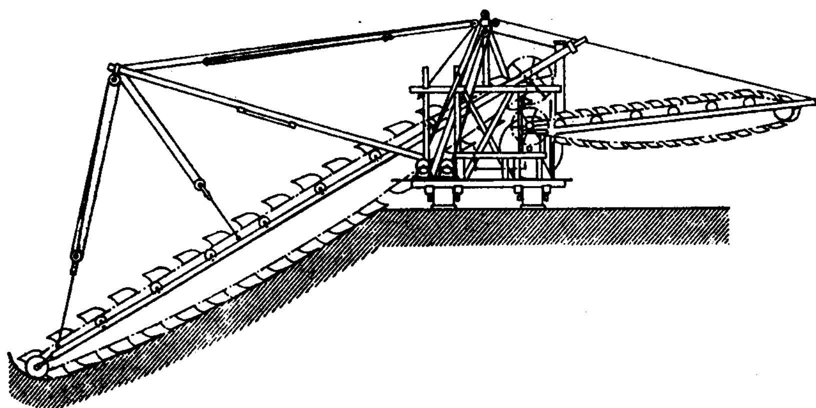
می‌داشتند. کارهای چشمگیری انجام گرفت. عمیق کردن بندرها، ساخت پلها، ساختمانهای معظم. برنامه‌هایی که کارهای بسیار گسترده‌ای را اعلام می‌کردند و بویژه برقراری شبکه‌های بزرگ راه‌آهن، پیدایش وسایلی را سبب شدند که در آن دوران به کمک ماشینهای بخار به‌طور مکانیکی حرکت داده می‌شدند.

لوکوموبیل و ماشینهای نیم‌ثابت از پایان سالهای ۱۸۵۰، عوامل این مکانیزاسیون بودند. در گذر بیست سال، لوکوموبیل تقریباً ویژهٔ کارهای کشاورزی بود.

حدود سال ۱۸۷۰ بود که در کارگاهها استفاده از این وسیله را برای فعال کردن دستگاه سیم جمعکن، جراثقال، بتونساز (مخلوط‌کنندهٔ سیمان)ها شروع کردند. در کارگاههای دیرپای و برای فعال کردن وسایل ثابت، ماشینهای نیم‌ثابت بدلیل برتریهایی که داشتند به‌طور روزافزونی ترجیح داده شدند. خود این وسایل پیش از آنکه به مجموعهٔ پرقدرتی تبدیل و از فلز ساخته شوند، انعطاف‌پذیر بودند، تا مثلاً در بندرها بتوان آنها را به‌کار گرفت.

گودبردار مکانیکی: تأسیس راه‌آهن، انگیزهٔ ساخت وسایل جدیدی شد. گودبردار مکانیکی، آشکارا، نخستین نوع آنها بود. آقای کوورو[1] مهندس فرانسوی، نخستین اختراع یک گودبردار بخاری را در ۱۸۵۹ به ثبت رسانید. این وسیله را شرکت کومب لیون ساخت. این وسیله برای جابه‌جا کردن خاکهای راه‌آهن سدان تیونویل[2]، در سالهای ۱۸۶۰ـ۱۸۶۳ به‌طور مؤثری مورد استفاده قرار گرفت. اصول این وسیله از ناعورهٔ قدیمی اقتباس شده بود که با اسبگرد کار می‌کرد، اما بویژه در نخستین لایروبیهای هلند در اواخر سدهٔ هجدهم به‌کار گرفته شد (رجوع کنید به مجلد سوم صفحهٔ ۴۱۵). وانگهی آقای کوورو وسیلهٔ خود را نخست: گود بردار با نردبان ملاقه‌دار مایل نامید (شکل ۴۷).این ماشین بخاری امکان می‌داد که از ملاقه‌های آویزان از زنجیر برای کندن خاک استفاده شود بشرطی که نردبانی، که زنجیر ملاقه‌ها در طول آن حرکت می‌کند، شیب مناسبی داشته باشد. شکل ملاقه‌ها که طبعاً با این کار سازگار بود، دارای رگهٔ برنده‌ای با دندانه‌های فولادی بودند و کف آنها در بالای مسیر باز می‌شد تا تخلیه شوند. این گودبردار، با یک جابه‌جا کنندهٔ خاکهای کنده شده تکمیل شد. بدون تردید، این نخستین خاکبرداری بود که طرح شده و دارای زنجیر ملاقه‌دار افقی بود. مجموعهٔ این وسایل با کمک یک شاسی با چرخهای لبه‌دار، روی ریلهایی، موازی دیوار خاکی که باید ساخته می‌شد، حرکت می‌کرد. این‌گودبردار خاکهای خود را در ماشین جابه‌جا کننده خالی می‌کرد تا به‌جای مورد نظر برده و برای خاکریزی راه‌آهن آینده به‌کار گرفته شود. این مجموعه را، ماشین بخاری که با دیگ بخارش روی شاسی قرار داشت حرکت می‌داد.

1. Couvreux 2. Thionville



شکل ۴۷.گودبردار کوورو.
سمت چپ: زنجیر ملاقه‌دار گودبردار؛ سمت راست: جابه‌جاگری که بار را روی خاک‌ریز خالی می‌کند؛ وسط: ماشین بخار.

ماشین خاکبرداری کوورو بسرعت به موفقیت شایانی دست یافت. از آن در کارگاههای متعددی استفاده شد که از آن جمله در سالهای ۱۸۶۳ـ۱۸۶۸ در کانال سوئز بود که در هر ساعت صدمتر مربع خاک را جابه‌جا می‌کرد.

این اصول بعدها برای ساخت انواع گودبردارهایی مورد استفاده قرار گرفت که تفاوت آنها با یکدیگر، در نوع بدنه، نردبان ملاقه‌دار، جراثقال سه‌تیری، شکل و مکانیسم بازکنندهٔ ملاقه‌ها و جای کابلها بود. در طی دههٔ ۸۰، این وسایل که معمولاً ساخت امریکا بودند بسیار قویتر شدند و ۲۰۰ متر مکعب در ساعت خاک را برمی‌داشتند در ضمن از حجم آنها نیز کاسته شده بود. شاسی آنها کمتر جایگیر بود. اما از آنجا که وزن کل دستگاه زیاد بود بر روی هشت چرخ که روی دو ریل موازی حرکت می‌کردند گذاشته می‌شدند. دو ماشین بخار داشتند که یکی از آنها حرکت دستگاه را به توسط انتقال قدرت از طریق یک پیچ بی‌انتها تأمین می‌کرد و دیگری متمایل شدن نردبان ملاقه‌دار را به کمک یک کلاچ مالشی روی سیم جمعکن، و نیز حرکت زنجیر ملاقه‌دار را عهده‌دار بود. نردبان از ورق آهن مشبک، و در نتیجه سبک بود. ساختمان و اهرم‌بندی جراثقال سه‌تیری کاملتر شده بود.

بدلیل استقبال کارگاههای مختلف از این وسیله، گودبردار کوورو از دور خارج شد. جابه‌جا کردن

خاکها، توسط واگونتهایی که روی ریل حرکت می‌کردند انجام می‌گرفت.

تأسیسات زهکشی و خطوط لوله: اصلاحات گوناگونی پیاپی انجام گرفتند. در سال ۱۸۸۴ از دستگاهی سخن می‌رفت که به‌طور خودکار تنبوشه‌ها را در کانالی قرار می‌داد و فوری کانال را با خاک می‌پوشانید. این عملیات با دو زنجیر ملاقه‌دار موازی و در جلوی دستگاهی که پیوسته در حرکت بود، انجام می‌گرفت. یکی از این زنجیرها کمتر از دیگری مایل بود و با لایهٔ رویی زمین سروکار داشت. زنجیر دوم، گودال را عمیقتر می‌کرد. خاکها از مجراهای همواری، طوری در پشت دستگاه انباشته می‌شدند که بتوان بدون تغییر ترکیب آنها، هر دو لایه را به‌جای نخست برگرداند. مجرای انعطاف‌پذیری که ماشین آن را حرکت می‌داد تنبوشه‌ها را در کانال آماده شده، پیش از اینکه روی آن بسته شود، قرار می‌داد.

بعدها ماشینهای حفرگودال ویژهٔ لوله‌های فاضلاب و سپس لوله‌های نفت و گاز ساخته شدند. در دههٔ ۱۹۳۰ این نوع کارها هنوز بسیار محدود بود. از گاو آهن خاصی که بتواند گودالهای عمودی حفر کند استفاده می‌شد. با آغاز دههٔ ۵۰ تقاضا همراه با ایجاد نخستین شبکهٔ خطوط لوله، بسرعت افزایش یافت. برای کم کردن حجم خاک جابه‌جایی در چنان فواصلی، وسایل شنی (زنجیر) داری ساخته شد که مجهز به مکانیسمی برای حفر گودالهای با مقطع ذوزنقه‌ای بودند. این مکانیسم دو هلیس فرزکننده با دندانه‌های فولادی دارای استحکام زیاد داشت که روی دو مخروط دارای محورهای افقی، به‌طور مارپیچ قرارگرفته بودند. این دو مخروط در قاعده به یکدیگر مربوط می‌شدند به‌طوری‌که در اثر کار آنها، زمین نرم می‌شد و خاکها دربرابر ملاقه‌های بالابرها آورده می‌شدند. ملاقه‌ها در بالاترین نقطهٔ مسیر خود، خاک خود را در ظرفی خالی می‌کردند، که می‌توانست آنها را تا بیست متر دورتر پرتاب کنند.

وسایل تسطیح: تعدادی از وسایل گودبرداری در اساس از اشتراک یک گودبردار و یک جابه‌جاگر، برای عملیات خاکبرداری، استخراج کانسارها و گودبرداری کارگاههای مختلف تشکیل شده است. تقریباً همهٔ وسایل تسطیح در ممالک متحدهٔ امریکا اختراع شدند و با نامهای امریکایی خود شناخته می‌شوند. ماشین *elevating-grader* در سالهای ۱۹۳۰-۱۹۴۰ شامل دیسک گردندهٔ تیزی بود که پیوسته لایهٔ نازکی از خاک را می‌تراشید و آن را در جابه‌جاگری می‌ریخت که دارای تسمهٔ نقالهٔ گردنده و رو به بالایی بود تا خاک را در واگونتها خالی کند. کمی پس از آن ماشین *leader* از انواع ماشین قبلی ساخته شد که می‌توانست ۵۰۰ متر مکعب خاک را در ساعت بردارد. ماشین *Scraper* نیز پس از جنگ جهانی دوم به بازار آمد و سه کار پیاپی را انجام می‌دهد: گودبرداری،

جابه‌جا کردن وپخش کردن. این ماشین آغاز اصول تازهٔ کارهای جدید تسطیح، در زمانی بود که گسترده بودن برنامه‌های بازسازی داخل کشور، کاهش هزینه‌های کار را همراه با شتاب در اجرای آنها تحمیل می‌کرد. این ماشین که چرخهای آن تایردار بودند از عقب به توسط یک تراکتور شنی (زنجیر)دار کاترپیلار به پیش رانده می‌شد. همین تراکتورهای شنی‌دار در سال ۱۹۴۶ مجهز به بولدوزر شدند. آنها مانند ماشینهای کشاورزی، که در بالا از آنها سخن رفته است، به وسایل خودکار تغییر سرعت مجهز بودند که بدون توقف تراکتور عمل می‌کردند. در طی سی سال، در این ماشینها اصلاحات جالبی به‌عمل آمد ـ اصلاحاتی که کاربرد بیش از پیش فشردهٔ آنها را در کارگاههای بزرگی، از قبیل ساختن راههای اتومبیل‌رو و فرودگاه‌ها، تأمین می‌کرد. بولدوزر که سپر آن، تبدیل به بالابرنده شده بود به‌طورکلی شنیهای خود را حفظ کرد. این ماشین برای انجام دادن بعضی کارها و در صورت نیاز، رفت‌وآمدهای مکرر، گرچه کوتاه، مجهز به تایرهایی می‌شد، همچنان‌که اسکریپرهای نیم‌سوار، غالباً خود بارکننده شدند.

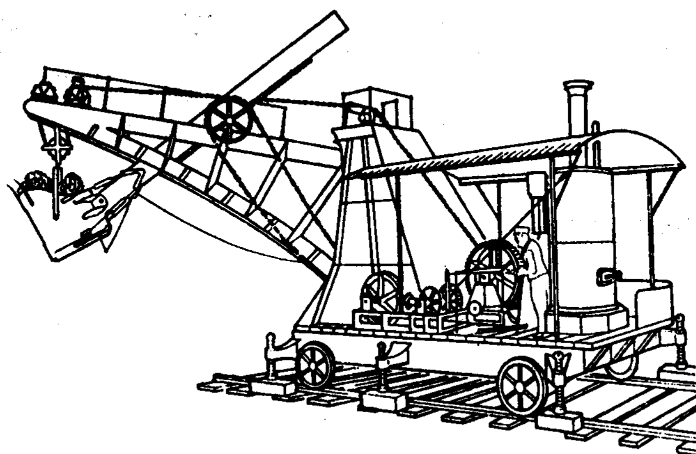
بیلهای مکانیکی: در ربع پایانی سدهٔ نوزدهم، همچنین وسایلی به‌کارگرفته می‌شد که بیلی در جلو خود داشتند و اکنون در فرانسه اصلاحات چشمگیری در آنها شده است، اما ریشه درگذشته‌های بسیار دور دارند. همهٔ آنها مانند ماشینهای خاکبردار امریکایی در اواخر سده نوزدهم از «Cuiller de Cette» مشتق شده‌اند. ریشه این یکی مطمئن نیست و احتمالاً نام آن، که در آغاز سدهٔ گذشته بسیار بر زبان می‌رفت، کاملاً اتفاقی است. این وسیله در کل، چیزی جز شدوف (رجوع کنید به مجلد اول، صفحهٔ ۱۶۰) قدیمی، اهرم نوسانی آبکش که مکانیک تکامل یافته‌ای در آن به‌کار رفته است، نبود. دیرک افقی، مایل شده بود و به توسط سیم یک دستگاه سیم جمعکن برافراشته می‌شد. این دیرک در انتهای خود حامل ملاقه‌ای بود که خاک را می‌تراشید یا چنگکی که دور حجم مورد نظر بسته می‌شد. تعادل یا باز و بسته شدن این وسایل به فرمان مکانیسمی از اهرمها و کابلها بود.

این وسیلهٔ سنتی بویژه برای لایروبی زیر آب مواد نرم، نظیر گل آبروفتی به‌کارگرفته می‌شد. افراشته شدن دیرک به توسط دستگاه سیم جمعکن بود که با قفس استوانه‌ای یا اسبگرد عمل می‌کرد. این وسیله به‌طور ناپیوسته کار می‌کرد و ظرفیت خاکبرداری آن کم بود. دخالت ماشین بخار، شرایط کار آن را تغییر داد زیرا این کار با زنجیر انجام می‌گرفت. این کار با تحول از مکانیک چوب به مکانیک آهن برای ساخت وسیله، همراه بود.

بیل مکانیکی بخاری حدود ۱۸۷۰ ساخته شد. نخستین نمونهٔ آن در سال ۱۸۷۸ در فرانسه

برای حفر کانالهای راه‌آهن سنتور[1] ـ پاریس به‌کار گرفته شد. اینها از نوع وسایل سنگین بودند که با موتور و دیگ بخار خود بر یک شاسی چرخدار لبه‌داری سوار، و روی ریلهایی که در کارگاه گذاشته شده بودند جابه‌جا می‌شدند (شکل ۴۸).آنها این امتیاز را داشتند که برخلاف گودبردارهای ملاقه‌ای، می‌توانستند بوسیلهٔ اتصال مفصلی بازوی نوساندار بیل و دیرکی که حمل می‌کرد، از پایین به بالا حرکت کنند. قطعهٔ لقمه‌بردار، در اصل، ملاقه‌ای شبیه ملاقه‌های نوع زنجیری است، اما با ظرفیتی بسیار زیادتر. حدود سال ۱۹۱۳ چنگکی ساخته شد که شامل دوکپه بود که بر روی لقمهٔ خود باز و بسته می‌شدند. این چنگک، وسیلهٔ پیشین را از میدان بیرون نکرد زیرا در انجام دادن کارهای آن ناتوان ماند.

در همان اوان بازوی نوساندار بیل با چرخی تعویض شد که چندین ملاقه به آن آویزان بود. این سیستم که کار پیوستهٔ وسیله را تأمین می‌کرد، شبیه نردبان ملاقه‌دار زنجیری، با نوارگردنده‌ای تکمیل شد که خاکها را برای بارکردن به بالا می‌برد. برتری این وسیله، توانایی آن برای کار در جهات مختلف جانبی و در عمق بود. این وسیله در امریکا تکمیل، و بمنظورهای گوناگونی به‌کار گرفته شد. انواع دیگری از آن در همان اوان ساخته شدند که روی همان ماشین، وظیفهٔ جراثقال و گودبردار کابلی را انجام می‌دادند. ملاقه از طریق یک بازوی گردان با جراثقال مربوط می‌شد، یا اینکه به انتهای یک دکل جراثقال آنرا می‌بستند که می‌توانست چندین ده متر برد داشته باشد. در حالت اخیر،



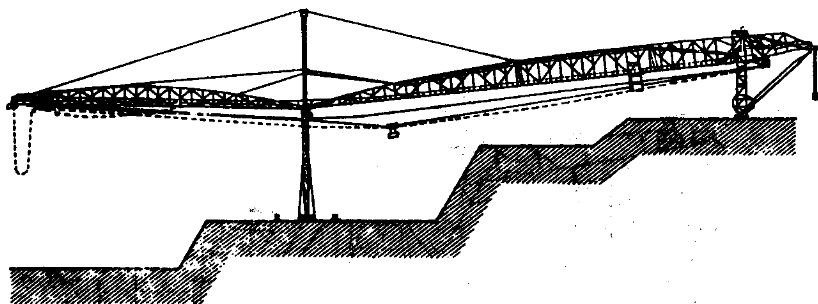
شکل ۴۸.بیل مکانیکی بخاری، ساخت شرکت Ruston & Proctor.

1. Ceinture

گردش روی پاشنه بازوی متحرک جراثقال، سطح وسیعی از زمین را زیر پوشش خود قرار می‌داد.

وسایل بزرگ کارگاهها: پس‌از جنگ جهانی اول، گودبردارهای دارای بازوی گردان و کابل، در آلمان و امریکا درکارگاههای مهم ساختمانی یا معادن، مثلاً لینییت (زغال‌سنگ قهوه‌ای) بسرعت رواج یافتند. یک کابل کمکی می‌توانست بین دو برج غالباً بسیار بلند، ۴۰ متر، با فاصلهٔ ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر کشیده شود که یک یا هر دو برج می‌توانستند دایره‌ای یا خطی جابه‌جا شوند تا استخراج در محوطهٔ بزرگی عملی شود (شکل ۴۹).ملاقه، که چهارچرخه‌ای بر روی دو کابل موازی، آن را نگاهداشته است پایین آمده و چندین متر روی زمین کشیده می‌شود تا پر شود، آن‌گاه با کشش کابلهای حامل آن بالا برده می‌شود و به طرف محل تخلیه رفته، در آنجا واژگون می‌گردد. در همین اوان (۱۹۲۵ـ۱۹۲۸) اطاق فرمان، در یکی از برجها، کارها را کنترل می‌کرد.

تحول در نیروی محرکه: چنین وسایلی را تنها پس‌از توزیع برق صنعتی، می‌شد مطرح کرد که دقیقاً تا سالهای ۱۹۲۰ رواج آن شروع نشده بود. اما در این زمان، موتورهای بنزینی پرتوان، تازه در دسترس قرار گرفته بودند. وسایل موتوردار تا آن زمان با بخار کار می‌کردند. در سالهای



شکل ۴۹.گودبردار با بازوی گردان، ساخت آدولف بلایشرت (A. Bleichert)

برای استخراج رگه‌های لینییت به‌کار گرفته می‌شد. بازوی سمت راست به طول ۱۵۰ متر بود و بر روی برجی قرار داشت که روی ریل مدوری حرکت می‌کرد. اتاق فرمان در این برج بود. بازوی سمت چپ، بدون تکیه‌گاه است و حدود ۱۰۰ متر طول دارد. با شل کردن کابلها، ظرف، ۴ تا ۵ متر روی خاک معدن کشیده می‌شود و سپس آن را به بالا می‌برند. ظرف از برج وسط می‌گذرد و پس از تخلیهٔ بار خود، به انتهای سمت چپ باز می‌گردد.

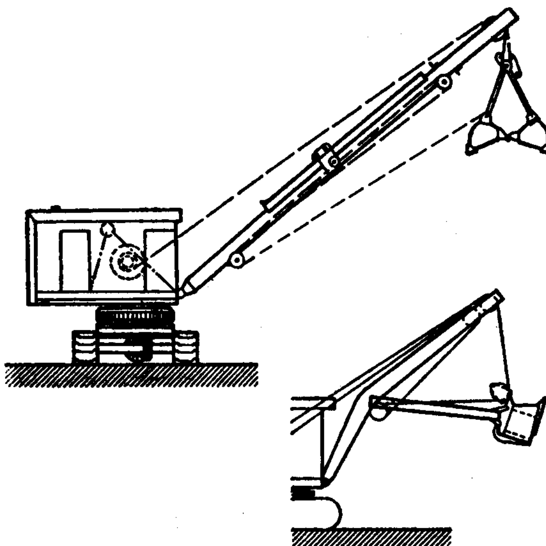
۱۹۲۰-۱۹۲۵ موتورهای بنزینی گویا با موتورهای بخاری، شانه‌به‌شانه پیش می‌رفتند، اما بعداً بسرعت، از آنها پیشی گرفتند و در کمتر از بیست سال، برق و بنزین، موتورهای بخاری را لااقل در کارگاههای اروپا و امریکا حذف کردند. موتورهای بخاری باز هم در مناطق وسیعی از جنگلها، که برق و بنزین، هنوز در آنها راه نیافته بودند، به‌کار گرفته می‌شدند.

در ابتدا، آغاز سالهای ۲۰، برای این وسایل، موتورهای قوی ۴۰ تا ۵۰ اسب و کُندکار ساخته می‌شد. می‌بایست نوعی حمایت ویژه دربرابر گرد و خاک پیش‌بینی و دستگاهی با دو صافی برای روغن موتور به‌کار برده شود. کاربرد موتور درونسوز که سبب تحول کلی خودروهای سنگین و موتورهای کشاورزی، یعنی رواج دیزل شد، پذیرش و کارایی آن را بازهم افزایش داد.

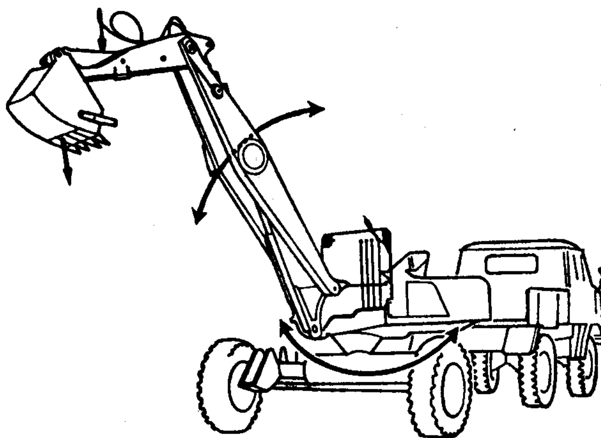
موتورهای‌بنزینی بی‌درنگ مزایای گوناگون خود را نمایاندند. سبک شدن خود موتور و تجهیزات آن، به امتیاز سادگی وسایل انتقال نیز افزوده می‌شد. این وسایل که تا آن زمان از تسمه‌ها و زنجیرها تشکیل می‌شدند و همراه با پیچیدگی سیستمها، امکان ایجاد حادثه برای آنها، سهل بود. با پیدایش موتورهای بنزینی، همهٔ کار انتقال نیرو، در همان آغاز سالهای ۲۰، به توسط چرخدنده‌ها و کابلها انجام گرفت (شکل ۵۰).در زمانی بسیار نزدیک به ما، در شمار زیادی از وسایل تسطیح، انتقال هیدرولیکی نیرو، وسایل بسیار مطمئنتر، قویتر و سریعتری را در دسترس قرار می‌دهد.

انتقال هیدرومکانیکی نیرو: درواقع انتقال هیدرولیکی یا به‌عبارت دقیقتر، هیدرومکانیکی، در سال ۱۸۸۲ در یک دستگاه بوجاری ساخت شرکت انگلیسی و. آرمسترانگ به‌کار گرفته شد. استوانه‌ای طویل مایل، در پشت بیل گذاشته شده بود و با فشاری برابر ۵۰ باری روی مایع، به‌حرکت رو به بالا و پایین ابزار فرمان می‌داد. در سال ۱۹۵۰ بود که فرمان هیدرولیکی بتدریج در همهٔ وسایلی که در آنها مفید بود به کار گرفته شد. این جنبش با پیدایش نوعی بیل هیدرولیکی که در سال ۱۹۵۱ هنوز نسبتاً ساده و در فرانسه به توسط شرکت پوکلن ساخته شده بود ایجاد شد(شکل ۵۱).این وسیلهٔ نیم‌سوار، در آغاز برای کارهای کشاورزی از قبیل حمل کود، چغندر و غیره ساخته شد. رئیس این مؤسسه کوچک در آن‌زمان، آقای ژورژ باتای[1] از یک خانوادهٔ کشاورز شهرستان اواز بود. با انتقال توان از تراکتور حامل این وسیله، تلمبه‌ای که در زیر مخزن روغن نصب شده بود به‌کار می‌افتاد و توسط سیستمی از توزیع فشار روغن، روی جکهای مختلفی که به اهرمها فرمان می‌دادند عمل می‌کرد. محور خم شونده، ملاقه‌ای را فعال می‌ساخت که معکوس کار می‌کرد، یعنی در موقعیت پایین لقمه‌برداری، کف آن بالا می‌آمد و پس از آنکه لقمه

1. G.Bataille



شکل ۵۰.گودبردار زنجیردار و موتور بنزینی (۱۹۱۵ـ۱۹۲۰)؛
بیل بیوسایرس (Bucyrus) که می‌تواند با ملاقه یا با چنگگ کار کند.



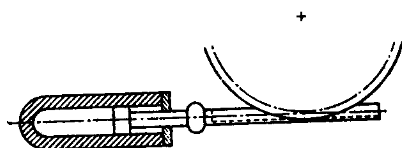
شکل ۵۱.بیل با انتقال هیدرولیکی نیرو، ساخت شرکت پوکلن، ۱۹۵۱.

را برمی‌داشت و به بالا می‌رفت برای ریختن بار حرکت مخالف اولی داشت. دستهٔ بیل بر برجک نوسانداری نصب شده بود که از دو جک فرمان می‌گرفت. هر جک یک صفحهٔ دنده‌دار را تحت تأثیر قرار می‌داد تا گردش از هر دو طرف تأمین شود (شکل ۵۲).سمتگیری دسته، لقمه‌برداری و بارزنی را بسیار آسان کرده بود. فرمان‌دهی وسیله از اتاقک آویزانی، که راننده در آن بود انجام می‌گرفت.

نخستین‌بیل پوکلن، در سالهای ۵۰ درکارهای غیرکشاورزی هم موفقیت شایانی به‌دست آورد. در نتیجه مدلهای تازه‌ای از این بیل ساخته شدند. پیشرفت سریع بود. وسیلهٔ تازه‌ای نیم‌سوار بر تراکتور یا سوار بر کامیون، بزودی عناصر اساسی کنونی، بازوی متحرک، بازوی نوساندار، مهارهای زمینی را به نمایش گذاردند. در ۱۹۵۸ سازندگان این وسیله یک ردیف ملاقه و یک ردیف سطل خم‌شونده را به نمایش گذاردند که بدون پیاده کردن بازوی نوساندار، می‌توانستند روی این وسیله سوار شوند.

دو سال پس از آن، مدلی به نمایش گذارده شد که به‌اصطلاح تمام گَرد وبدون محدودیت بود. این مدل یک موتور کمکی دیزل داشت که انرژی لازم برای یک تلمبهٔ قوی روغن با فشار ۲۵۰ باری را تأمین می‌کرد. اصلاحات این وسیله، طبعاً روی قطعات مختلفی بود، اما تکمیل تلمبهٔ روغن و پخش آن اهمیت خاصی داشت.

بعدها، بیشتر این اصلاحات در انواع بیلهای هیدرولیکی جهان تعمیم یافتند. این بیلها خودرو، دارای تایر، و چند جفت چرخهای کشنده شدند و با وضع جمع‌وجوری که داشتند در جاده‌ها بخوبی حرکت می‌کردند. کاربرد آنها بسیار گوناگون شد. آنها برای انجام کارهایی که در طول باید بسیار پیش می‌رفتند، مثلاً کانال کنی برای آب یا خطوط دکلهای برق، بسیار مناسب هستند؛ برای گودبرداری، سوراخکنی و بنابراین، انداختن دکلهای قدیمی و نصب دکلهای تازه به‌کارگرفته می‌شوند. این نمونه‌هایی ازکار بی‌شمار آنهاست که با تعویض سریع بعضی قطعات امکانپذیر هستند. مثلاً در مورد نصب دکلها، بازوی نوساندار بیل با یک بازوی گردان نگاهداری دکل عوض می‌شود و به‌جای



شکل ۵۲.مکانیزم فرمان بیل.
صفحهٔ دنده‌داری که با چرخدنده‌ای درگیر شده است، پیچ جک را درازتر کرده است.

جک بازوی نوساندار، از یک قطعهٔ کشندهٔ بازوی گردان استفاده خواهد شد که استحکام کل وسیله را هم تأمین می‌کند. اینها تعویضهایی است که در کارگاه در عرض چند ده دقیقه انجام‌پذیر هستند.

ازخصوصیات دیگر اکثر این وسایل، در آغاز سالهای ۵۰ این بود که آنها از نظر بزرگی و قدرت، بسیار متفاوت بودند. پیش از این دوره، بیشتر این وسایل موتوری درونسوز، تنها در کارگاههای بزرگ به‌کار گرفته می‌شدند. لاجرم لازم بود که برای کاربرد روشهای کم‌وبیش سنتی جابه‌جا کردن و بالا بردن در کارگاههای کوچک و حتی متوسط چاره‌ای اندیشیده شود. در حال حاضر وسایل مکانیزه‌ای برای انواع کارگاهها، حتی کوچکترین آنها وجود دارد. این تجهیزات به لطف انتقال هیدرومکانیکی نیرو ساخته شده‌اند که دقت و انعطاف‌پذیری همهٔ حرکات قسمتها و نیز کاربرد نسبتاً عمومی موتورهای دیزل یا برقی را تأمین کرده است. در مورد برق باید گفت که ایجاد انشعاب در یک خط انتقال نیرو با ولتاژ متوسط در همه‌جا امکانپذیر است. اما در مورد کارگاههای بزرگی که انشعابها بسیار گران تمام می‌شوند، مولدی که با دیزل کار می‌کند منبع همه‌جا در دسترس برای جریان برق است. برقی شدن تدریجی وسایل در اینجا با بررسی مثالهایی از بالابری یادآوری می‌شود.

جراثقالهای با ماشین بخار: پیش از اینکه به جریان برقی شدن بپردازیم (همان‌طورکه دیده خواهد شد که بسیار سریع انجام گرفت) جراثقالها طبعاً با ماشینهای بخار مکانیزه شدند. این کار نخست، پاسخی به نیازمندی بندرها و انبارها بود که نخستین جراثقالهای بخاری را از سال ۱۸۵۰ مورد استفاده قرار داده بودند. تا این دوره، گرچه ساختمان جراثقالها، کمی تغییر یافته بود، وسایل حرکت دادن آنها از سده‌ها پیش بدون تغییر مانده بود. حرکت آنها با انرژی عضلانی انجام می‌گرفت که به توسط لنگ، سیم جمعکن، دوار، قفس استوانه‌ای و اسبگرد چند برابر می‌شد. مدلهای ماشین بخار سالهای ۱۸۶۰، با همراه ابعاد و توازنی، بر روی پاشنه‌ای سوار بودند که در کاسه‌ای می‌گردید و عموماً روی چرخهای فلزی در حالت تعادل بودند. جراثقالها دارای دو سیلندر بودند، یکی برای کاراندازی سیم جمعکن و دیگری به چرخدنده‌هایی فرمان می‌داد که توسط یک صفحهٔ دندانه‌دار، گردش وسیله را تأمین می‌کرد.

درانبارها، این جراثقالها ثابت بودند و به‌طورکلی با گردش خود یک دهانهٔ انبار را کنترل می‌کردند. در باراندازها، آنها یا باکشش حیوان، یا بعدها، به توسط تراکتوریا سیم جمعکن بخاری روی ریل جابه‌جا می‌شدند. در سالهای ۸۰ جراثقالهای نسبتاً سبکی ساخته شد که دیگ بخار عمودی روی آنها، به‌شکل پیش نشسته قرار داده شده بود تا در برابر باری که بازوی متحرک برداشته است نقش وزنهٔ تعادل

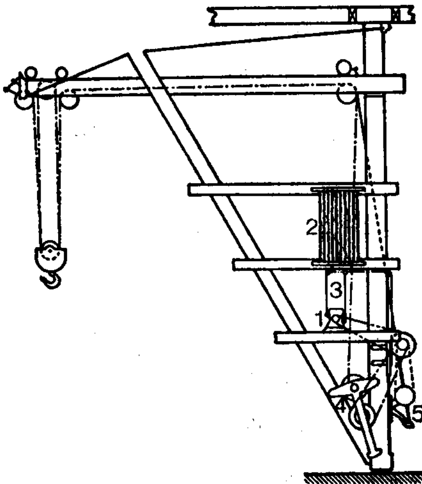
را داشته باشد. جراثقالهای دوبه‌ها و قایقهای بادبانی بسرعت مورد استفاده فراوان قرارگرفتند؛ استقرار ثابت آنها کمتر از حالتی که به توسط قرقره روی ریل جابه‌جا می‌شدند با دشواری روبه‌رو می‌شد.

در طی این دوره در بندرهای بزرگ اروپا ممالک متحدهٔ امریکا، تجهیزات سنگین، فراوان شد. جراثقالهایی که می‌توانستند وزنهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ تنی را بالا ببرند پیاپی ساخته شدند. در ۱۸۸۴ در هامبورگ یک جراثقال ۱۵۰ تنی کار گذاشته شد که در آن زمان بزرگترین جراثقالهای جهان به‌شمار می‌آمد و ویژه جابه‌جا کردن توپهای ۱۲۰ تنی کروپ بود.

جراثقالهای بخاری با وجود برقی شدن ، جملگی یا لااقل اقسامی از آنها، مدتها، تا آستانهٔ جنگ جهانی دوم، به‌کار ادامه می‌دادند. لایروبیهای بخاری با بازوهای بزرگ، که در نقش گودبردارهای دوفکی یا جراثقالها کار می‌کردند در سالهای ۲۰ هنوز کاربرد فراوان داشتند. بعضی از اقسام جراثقالها با بازوهای متحرک مایل و دارای وزنهٔ تعادل، و نیز جراثقالهای بزرگ دکلی مجهز به یک سیم جمعکن بخاری در همان زمانها برای نصب جراثقالهای قوی در بندرها یا بعضی کارگاههای ساختمانی به‌کارگرفته می‌شدند. این کار با وسایل دیگری هنوز هم ادامه دارد.

جراثقالهای برقی: کاربرد موتورهای برقی برای کاراندازی سیم جمعکن جراثقال، در سالهای ۱۸۸۰ شروع شد. نخستین جراثقال در سال ۱۸۸۴ در فرانسه در کارخانه‌های ماشین‌سازی فارکو واقع در سنت ـ ون برقی شد. این کارخانه‌ها هشت جراثقال ۲۰ تنی داشتند. اینها جراثقالهای دکلی عمودی با ارتفاع ۱۲٫۵ متر با بازوی متحرک افقی بودند (شکل ۵۳).برای اینکه پایدار باشند در قسمت بالایی دکل چوبی، میله‌ای فولادی را گذرانیده بودند که در یک یاتاقان فشنگی، که در چوب بست نوک وسیله جاسازی شده بود، می‌گردید. دکل در پایین به چرخکی چدنی با لولای فولادی و کف گرد ختم می‌شد. یک پایهٔ سنگی قوی، تمام وزن جراثقال را در زمین تحمل می‌کرد. این یک ساختمان کلاسیک کم‌وبیش مشابه همهٔ وسایلی بود که در یک سدهٔ پیش یا قبل از آن برای بالا بردن اجسام سنگین اندیشیده بودند. مثل همهٔ جراثقالهای این زمان و مدتها پس از آن، بار مورد نظر به توسط زنجیری که متصل به دستگاه سیم جمعکن بود با گذشتن از فلکه‌های پیرو (متحرک) به بالا برده می‌شد. پیش از برقی کردن، عمل دستگاه سیم جمعکن چنین جراثقالهایی بوسیلهٔ ده مرد انجام می‌گرفت که با دوازده بارگردانیدن میل‌لنگ، که هر گردش آن یک دقیقه طول می‌کشید، جسم را بالا می‌بردند.

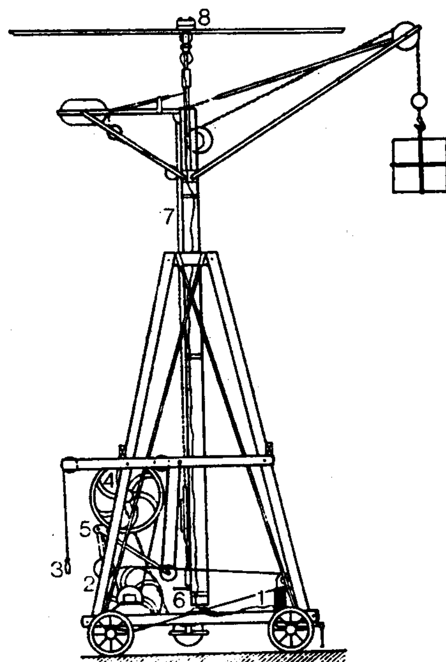
این کارخانه با یک گروه مولد برق، ماشین بخار و دینام، در محلی مجزا ازکارخانه، مجهز بود و یک موتور دینامی در پایین دکل جراثقال را، با ۳۵۰ ولت تغذیه می‌کرد. محور این موتور، که در آن



شکل ۵۳.جراثقال برقی فارکو.
۱. موتور الکتریکی ۲. جعبهٔ مقاومت؛ ۳. مکانیسم تغییر حرکت؛ ۴. لنگ برای گردانیدن با دست؛ ۵. لنگ برای انتقال بار با دست.

زمان شبیه دینام بود با سرعت هزار دور در دقیقه می‌گردید. گروهی از چرخدنده‌های کاهنده، این سرعت را به کمی بیش از دو دور در دقیقه پایین می‌آوردند. با کمک یک جعبهٔ مقاومت (رئوستا) توانستند سرعت را تا حداکثر، متناسب با جرم باری که می‌خواستند بالا ببرند، بدقت درجه‌بندی کنند.

این وسیله پس از تکمیل قسمتهایی از آن، در تأسیسات بزرگ صنعتی به‌کار گرفته شد. انتقال نیرو از موتور برقی به فلکهٔ دندانه‌دار سیم جمعکن به توسط تسمه با قرقرهٔ کشش انجام می‌گرفت. زمانی‌که جراثقال روی چهار چرخ گذاشته شد تا بتوان آن را جابه‌جا کرد، تغذیه با برق توسط سیمی انجام گرفت که از بالای دیوارها کشیده شده، روی مقره‌های عایق، با نبشیهایی که با اتصال موازی با سیم مربوط می‌شدند تا کنتاکت با سیستم متحرکی، در بالای دکل تأمین شود (شکل ۵۴).جابه‌جایی عمودی این سیستم، برای بستن مدار، به فرمان اهرمی در پایین دکل بود. در چنین شرایطی، موتور، پیوسته می‌گردد، قرقرهٔ کشش تسمهٔ انتقال، کلاچ گرفتن دستگاه را تأمین می‌کند. این قرقره در مواضع معینی امکان نگاهداری بار را در ارتفاع ثابت، در زمانی‌که جراثقال



شکل ۵۴.جراثقال برقی روی چهار چرخه.
۱. موتور برقی؛ ۲. قرقرهٔ کشندهٔ تسمهٔ انتقال از فلکهٔ پایینی به فلکهٔ دستگاه سیم جمعکن ۴؛ ۳. اهرم فرمان به قرقرهٔ کشنده؛ ۴. دستگاه سیم جمعکن، زنجیر بالا برندهٔ بار، دور آن می‌پیچد؛ این زنجیر در پشت دکل عمودی بالا می‌رود؛ ۵. ترمز اطمینان؛ ۶. اهرم فرمان به کنتاکتها؛ ۷. زنجیر حامل وزنهٔ تعادل در پایین، برای عمودی نگاهداشتن دکل و نگاهداری کنتاکتها؛ ۸. لقمه برداشته شده است.

می‌گردد، فراهم می‌آورد، بدین‌ترتیب، از همان آزمایشهای نخستین، الکتریسین‌ها و مکانیسین‌ها، وسایل عملی کار را طرح کرده بودند.

مدیران این مؤسسه بزودی متوجه مزایای برقی کردن جراثقالها شدند. در انبار پشم شهرستان روبه[1] جابه‌جاکردن دستی محصول مستلزم بیست ساعت کار برای رویهم چیدن ۱۵۰ عدل با یک دستهٔ ده نفری بود. پس از نصب یک جراثقال برقی در ۱۸۸۶ تنها چهار کارگر و سه ساعت کار

۱. Roubaix شهرستانی در ایالت نور، در شمال فرانسه.ـم.

برای اجرای همان وظیفه کافی بود. باز در آغاز این دوران، برقی کردن وسایل بالابری، در انبارهای بزرگ و بویژه در بندرها، و قورخانه‌ها، به‌طور منظم دنبال شد.

جراثقالهای سقفی: کاربرد برق، که موتورهای کم حجم نصب شده روی وسایل قوی را در دسترس قرار داد، علاوه‌بر دستاوردهای دیگر، به نصب دستگاه سیم جمعکن روی یک شاسی فلزی منجر شد، که روی ریلهای محکم شده در سقف کارگاه حرکت کنند. آغاز ساخت این جراثقالهای سقفی، در سال ۱۸۹۰ و در امریکا، سپس در بریتانیای کبیر بود و ظرفیت بار آنها به چندین صد تن رسید. جراثقالهای این زمان، در وسط مجهز به یک بازوی قرقره‌دار بودند که کابل بالابرنده از روی آن می‌گذشت. با تغییر دادن میل بازو، این جراثقال می‌توانست همهٔ فاصلهٔ برد خود را جارو کند. تنها یک موتور برای اجرای همهٔ حرکتهای طولی، سمتیْ بالا بردن این نوع جراثقال کافی بود. راننده‌ای که در اتاقکی واقع در روی جراثقال نشسته بود به آن فرمان می‌داد.

پیش از اینکه سده پایان یابد، اصول این نوع جراثقال برای جابه‌جا کردن در کارگاههای بزرگ سیدرورژی، حمل بار ریزهای چدن و فولاد مذاب در کارخانه‌های بسمر، بارزنی کوره‌های مارتن به‌کار گرفته شد.

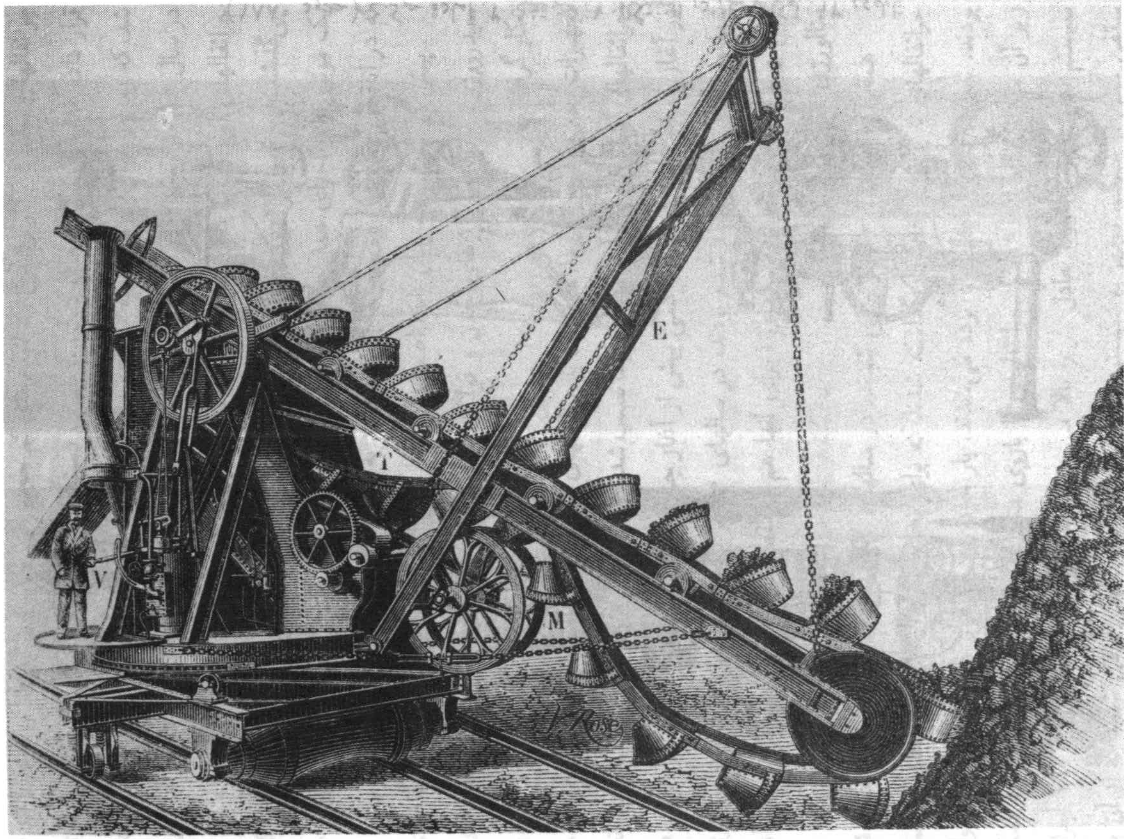
تجهیزات بندرها: در بندرها، تجهیزات با جراثقالهای بخاری رواج داشتند. اما از سال ۱۸۹۰ـ۱۸۹۲ جراثقالهای گوناگون برقی درکنار باراندازها نصب شدند (شکل ۵۵). برنامه‌های عظیم تجدید تجهیزات در آغاز سدهٔ بیستم، در فرانسه کمی پیش از آغاز جنگ جهانی اول اجرا شدند. این برنامه‌ها در اثر شعله‌ور شدن جنگ، قطع شده بودند، در سالهای ۲۰ بر پایه‌های پیشین، با کمی دستکاری ادامه یافته و به پایان رسیدند. تکنیکهای اجرای آنها هم از نقطه‌نظر برقی و مکانیکی و هم از لحاظ متالورژی تغییر بزرگی نداشتند.

همهٔ این تجهیزات سراسر برقی شدند. در سالهای ۱۹۱۲ـ۱۹۱۳ در ممالک متحدهٔ امریکا جراثقالهای با بازوی گردان کار گذاشته شدند که برای تخلیهٔ کانیها، مجهز به سطلهای خم شونده بودند. سطلها پس از اینکه بالا برده می‌شدند، بار خود را در قیفی خالی می‌کردند که واگنها از زیر آن می‌گذشتند. در ۱۹۱۹ جراثقالهای با بازوی متحرک مایل ساخته شدند که به کمک یک سیستم اهرمی دارای وزنهٔ تعادل بار را بالا می‌بردند (شکل ۵۶). حدود سال ۱۹۳۰ جراثقالهای سقفی پیش از جنگ، مجهز به سیستم چهارچرخه ـ سیم جمعکن برقی شدند که از آن برای بالا بردن، جابه‌جایی و تخلیه (با برگردانیدن) سطل استفاده می‌شد، یا جراثقالهای چهار چرخه‌داری که آنها هم روی ریل سقفی حرکت می‌کردند. جابه‌جا شدن خود جراثقالهای روی ریلهای موازی

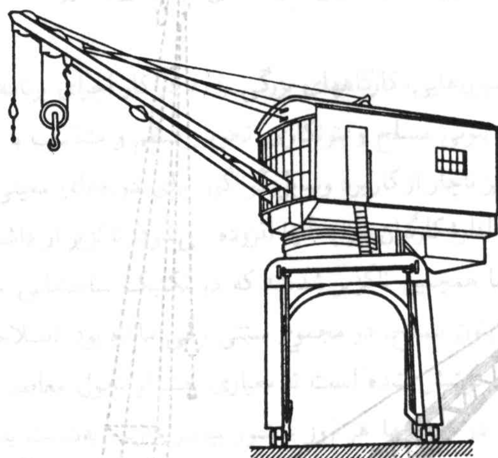




تابلوی ۱۳. لوکوموبیل در ایستگاه: ۱. متوقف؛ ۲. آمادهٔ حرکت (حدود ۱۸۸۰).



تابلوی ۱۴. گودبردار بخاری (حدود ۱۸۸۰).

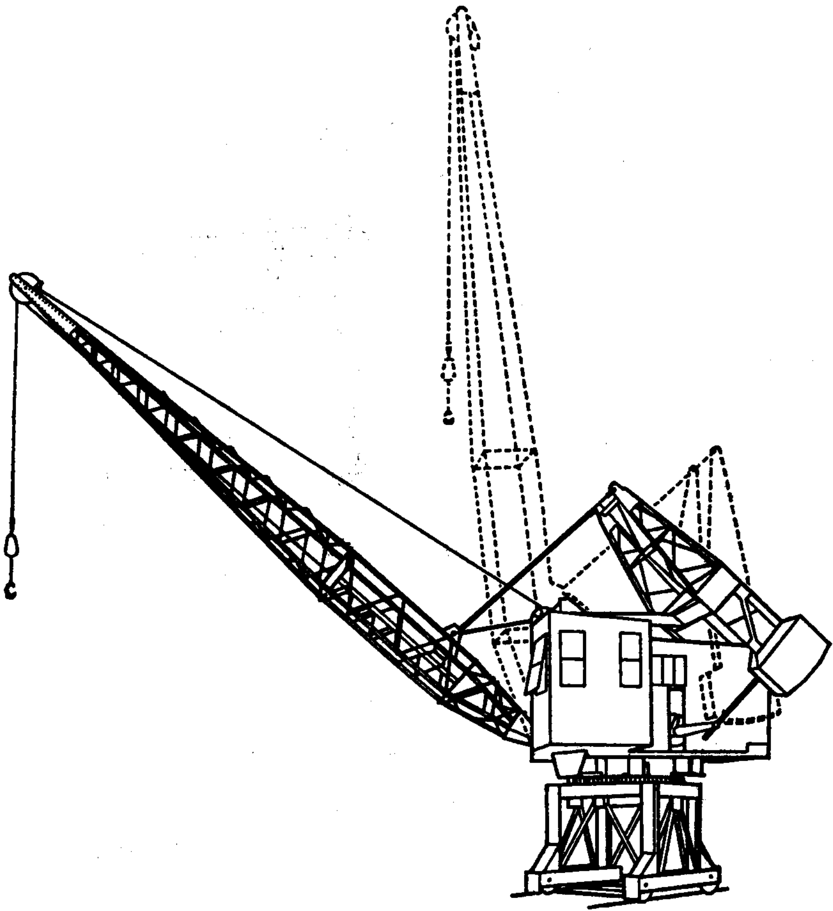


شکل ۵۵.جراثقال برقی بندر.

یکدیگر در لبهٔ بارانداز، به فرمان یک موتور الکتریکی بود.

جراثقالهای ستونی: کارگاههای ساختمانی با تأخیر فراوان از دستاوردهای برق بهره‌مند شدند. علل این تأخیر، درگذشته، در مبحث وسایل گودبرداری یا تسطیح گفته شده است. اما در مکانیسم بالابری، ساختمان جراثقالها متحمل تغییرات بزرگی شد. بازوی متحرک که هنوز مایل بود، از یک تیر مشبک با مقطع چهارگوشه یا سه‌گوشه تشکیل می‌شد تا افزایش ابعاد، برد و مقاومت آن ممکن باشد.

پس از جنگ جهانی دوم بود که نخستین جراثقالهای ستونی به تعداد زیاد به‌کار گرفته شدند. آنها نخست در آلمان برای پاسخ به نیازهای بازسازی ساخته شدند و در این کشور، بیش از دیگر کشورهایی که متحمل خرابیهای چشمگیری شده بودند برپا شدند. این جراثقالها با دکل فلزی عمودی، تیرآهن مشبک با یک بازوی دارای وزنه تعادلی، درحال حاضر، در همهٔ چشم‌اندازهای جهان، سیمای آشنای خود را به ما می‌نمایاند. آنها را به‌کمک یک وسیلهٔ بالابری بزرگ، جراثقالهای کامیونی دارای بازوی مایل معمولی و خم شونده می‌توان بالا برد و در چند دقیقه نصب کرد. پایهٔ ستون تا ده متر، بوسیلهٔ اطاقک فرمان گذارده می‌شود و از آن پس بازو که معمولاً بسیار طویل است، با بلند کردن مجموعه تا ارتفاع دلخواه با جکها، قطعات متحد کننده را یکی پس از



شکل ۵۶.جراثقال توپلیس (Toplis)، نوساندار با بازوی افراشته شونده.

دیگری به قاعدهٔ ستون می‌افزایند. جراثقالهای ستونی سراسر برقی در تغییر کلی شکل کارگاهها، همزمان با به‌کارگیری وسایل خودرونده یا نیم‌سوار خاکبرداری تأثیر زیادی داشتند. آنها برای رفع نیازهای گوناگون در ابعاد مختلف ساخته شدند. بی‌شبهه به‌دنبال بهتر شدن کیفیت فولادها، وزن آنها برای ارتفاع و ظرفیت برابر بالابری، پس از سی سال به نصف کاهش یافت، که به معنی افزایش حداکثر ارتفاعهای ممکن است. با نصب ثابت این نوع جراثقال روی پایه‌های محکم یا با سوار

کردن آنها روی شاسیهایی که روی ریل حرکت می‌کنند یا روی تایرها، گسترهٔ کار آنها بیش از پیش افزایش یافته است.

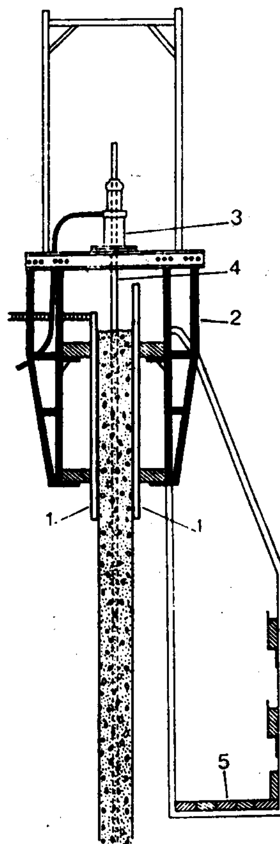
چنین مکانیزاسیون‌هایی، کارگاههای بزرگی را که در کار اجرای برنامه‌های تولید قطعات پیش ساخته، فراورده‌های بتونی مسلح و بتونکاری، تحویل منظم و متناسب با نیاز و بدون انباشته شدن ذخایر در محل، و نیز ناچار از کاربرد وسایل گوناگون برای دوره‌های معینی هستند، که دشواریهای مربوط به پذیرایی و ادارهٔ کارگران نیز به آنها افزوده می‌شود، ناگزیر از داشتن یک سازمان صنعتی واقعی می‌سازد. آنها همچنین ناگزیر شده‌اند که در تکنیک ساختمانی خود که با وجود دخالت اسکلتبندی فلزی و بتون مسلح، در مجموع سنتی باقی مانده بود، اصلاحات عمیقی وارد کنند.

در فصل بعدی کوشش شده است تا معیاری چند از تحول معاصر این روشها در پیروی از وسایل مکانیکی که در کارگاهها هر روز حضور بیشتر دارند، به‌دست بدهیم. برای مرتبط کردن مستقیمتر سرعت جابه‌جا سازی، که با وسایل شناخته شده کنونی به‌دست آمده است به افزایش سرعت گسترش اجرای عملیات، به ذکر یک نمونه در اینجا اکتفا می‌کنیم.

این نمونه مربوط به ساختمان خانه‌های بسیار مرتفع، برجی، است که طی چند سال، چهرهٔ بیشتر شهرها را تغییر داده است. چون انگیزهٔ این کار صرفاً نفع‌پرستی گروههای مالی است لاجرم کار به‌صورت بسیار آشفته‌ای انجام گرفته است؛ گروههای مشوق این کار، در پشت این واژهٔ خوش‌آهنگ، غرض سودجویی خود را پنهان کرده‌اند. اینان گویی استفاده از زمینها در کشورهای به‌اصطلاح لیبرال را تیول خود می‌دانند. ضمناً توجه می‌دهیم آفت این نوع معماری، تنها کشورهای لیبرال را آلوده نکرده است. در کشورهای مشرق نیز، از دورهٔ استالین، تقریباً در همه جا شواهد ملال‌آوری از یک سبک پر طمطراق و جاه‌طلبانه بر جای مانده است.

ماشینی شدن بتون‌کاری در اواخر دههٔ ۵۰ در داخل کارگاههایی که برای ساخت خانه‌های برجی قویاً مکانیزه شده بودند وارد شد. این روند سپس بسرعت در انواع دیگری از ساختمانها، نظیر سیلوها، دکلها، شومینه‌ها، منابع آب، دیوارهای پشتگیر گسترش یافت. این سیستمی بود که سردادن عمودی قالب‌بندی (کفراژ) را به تدریجی که عملیات آهنکاری و بتونریزی پیش می‌رفت ممکن می‌ساخت (شکل ۵۷).

از مدتهای پیش این حرکت بوسیلهٔ جکهایی انجام می‌گرفت که با دست عمل می‌کردند. با این ترتیب، این کار به‌طور ناپیوسته، خشن وبی‌نظم انجام می‌گرفت و ارتفاع بالابری از سه متر در روز بیشتر نبود. کار کردن با جکهای هیدرولیکی این عیوب را از بین برد و به سرعت پیشرفت کار،



شکل ۵۷.نمایش سردادن یک قالب‌بندی.
۱. قالب‌بندی لغزنده؛ ۲. خرک بالابری؛ ۳. جک هیدرولیکی؛ ۴. میلهٔ فرمان؛ ۵.اسکلت چرخ طیار خارجی.

با کاهش بسیار زیاد تعداد کارگر لازم، افزود. قالب‌بندی پیوسته با تخته‌های چوبی دارای پوشش فلزی انجام می‌گرفت. خرکهای فلزی که آن را فشرده می‌سازند در بالای خود جکی دارند که میلهٔ فولادی عمودی را که از لولهٔ مرکزی آنها می‌گذرد به سختی در میان گرفته و پیوسته از طول آن بالا می‌روند و بخش پایینی در بتون پوشیده می‌شود. کار آهنکاری و بتونریزی شبانه‌روز ادامه دارد تا به نوک ساختمان برسند.

مشکل کابلها: از بعضی جنبه‌های ویژهٔ ساختمانهای صنعتی که به چشم ضمایم به آن می‌نگرند ـ اما درواقع در پیشرفت مجموع رشته‌های بزرگ تولیدی سهیم هستند ـ اطلاعات زیادی در دست نیست. این نواقص سبب می‌شود که نویسندگان تاریخ تکنیک نتوانند از پدیده‌های تحولی مورد بررسی خود، تحلیلهای کاملی به‌دست دهند.

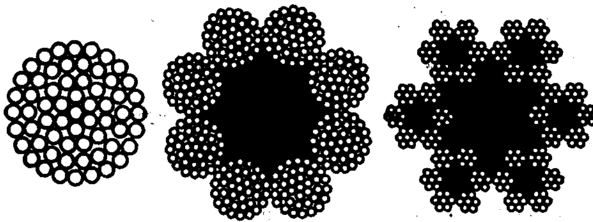
برای اینکه به این مناطق تاریک تاریخ توجه شود در اینجا تنها به مشکل کابلها می‌پردازیم. همهٔ وسایلی که درگذشته از آنها سخن رانده‌ایم شامل عناصر انتقال یا تأثیر نیرو از راه اتصالات نرم است. مدتهای زیاد، تقریباً از اواسط سدهٔ نوزدهم تا دوران میان دو جنگ جهانی، این اتصالات از زنجیرهای فلزی یا از طنابهای ساخته شده از نخهای طبیعی بودند.

تکنیک ساخت زنجیرها از اواخر سدهٔ هجدهم تا اواسط نوزدهم بسرعت پیشرفت داشته، و بعدها نیز ادامه یافته است. نه‌تنها در مورد زنجیرهای با حلقه‌های درگیر در یکدیگر که با فشار، پیچیدن یا جوشکاری بسته شده‌اند، بلکه برای کارکردن با چرخدنده، این زنجیرها از استوانه‌ها و ورقه‌های فولادی جانبی تشکیل می‌شدند که به توسط قطعات دوک مانندی با سرهای پیچ یا پرچ شده با یکدیگر محکم شده‌اند. مشهورترین این زنجیرهای مفصلی، زنجیر گال[1] است که در ۱۸۲۹ اختراع شد.

از سده‌های پیش، طنابهایی از نخهای طبیعی ساخته می‌شد. این طنابها که برای کارهای صنعتی تهیه می‌شدند کنفی بودند و معمولاً مانیل خوانده می‌شدند. ساخت این طنابها در سدهٔ هجدهم بدلیل نیازهای کشتیها و بویژه در سدهٔ نوزدهم برای کار در معادن پیشرفت زیادی داشت. زمانی‌که سطلهای فلزی بزرگ برای استخراج و پس از مدت زیادی برای پایین و بالا آوردن اشخاص به‌کار گرفته شدند، پشتگیرهای معادن مجهز به سیم جمع‌کنهای بخاری بودند که کابلهای مسطح روی آنها پیچیده می‌شدند.

برای وسایل بالابری و جابه‌جا کردن با فلکه‌های بویژه برای جراثقالها، کابل مورد استفاده، استوانه‌ای بود. پس از اندک مدتی با پیچانیدن روی هم، دور هسته‌ای از سیمهای نازک، کابلهای درهم تابیده با یا بدون هسته ساخته شدند (شکل ۵۸).اصول ساخت آنها، زمانی‌که دستگاهها مفتولکشی، سیمهای فولادی کشیده شده با قطرهای مناسب برای جانشینی طنابهای ساخته شده از الیاف طبیعی تولید کردند، تغییری نیافت. سیمهای به‌هم تابیده‌ای از یک یا دو دوجین سیمها، به قطرهای گوناگون ساخته‌اند که برحسب نوع از ۱۹ تا ۳۷ سیم با یا بدون هسته، مثلاً برای جراثقال، به یکدیگر تابیده شده‌اند. شش بافهٔ سیمی حول هسته‌ای که می‌تواند از طناب یا سیمهای فلزی

۱. Galle اختراع آقای آندره گال فرانسوی (۱۷۶۱ـ۱۸۴۴)ـم.



شکل ۵۸.مقاطع فعلی کابلها.
از چپ به راست. کابل باریک، کابل مهار که یک هسته و هشت کابل باریک دارد؛ کابل یدک کشی که یک هسته و شش کابل مهار دارد. طنابهای ساخته شده از نخهای طبیعی هم همین ساختار را دارند. با شکل ۱۰ در صفحهٔ مجلد سوم مقایسه کنید.

باشد. همچنین، مانند الیاف طبیعی، کابلهایی از لایه‌های رویهم هم‌مرکز ساخته‌اند. در آغاز این سده، انواع کابلها، به‌کار گرفته شده و رفته رفته رواج یافته‌اند. آخرین نوع نام برده شده آنها، که پس از بقیه ساخته شد، گویا ویژهٔ وسایل بالابری بوده‌اند.

در همهٔ زمانها، طنابها برای کار در رشته‌های غیر بالابری ساخته شده‌اند؛ این نکته را در گذشته گفته‌ایم. در گذر نیمهٔ دوم این سده، راه‌آهنهای کابلی، بویژه گسترش زیاد داشته‌اند و ساخت آنها برای این منظور اصلاح شده است.

سرانجام بخاطر نیازهای تکنیکی ساخت کابلها، روشهای کنترل و بررسی بسیار تخصصی‌ای در طی دهه‌های اخیر پدید آمده است. آزمایشهای نسبت قطر به استحکام در برابر پارگی در سیمهای به‌هم تافته، تأثیر کیفیت فولاد و عملیات مفتولکشی تأثیر اندود کردن با روی در کاستن تأثیر خورندگی بر نرمی و مفتولپذیری و استحکام دربرابر پیچش کابل به‌هم تابیده، بررسی شده است.

روش ساخت کابل نیز مورد بررسی بسیار دقیق کابل‌سازان بوده است. از جمله مسائل مورد بررسی، این بود که آیا سیمهای بیرونی، میانی و درونی دارای یک قطر باشند، یا نه؛ چگونه سیمها را بتابند تا از تقاطعهای داخلی که موجب ایجاد تابیدگی ثانوی و فرسایش بسیار سریع به‌علت مالش است جلوگیری شود.

مثلاً در اواخر دههٔ ۱۹۵۰، این نظریه، که کابل‌سازی با سیمهای یک بافهٔ فلزی و بافه‌هایی از یک کابل، باید به‌شکل پیچش پیوسته‌ای انجام گیرد از تقاطعهای داخلی جلو گرفت. این رشته، نمونه‌ای از صدهاست که معمولاً تاریخ‌نویسان و تودهٔ مردم آن را ندیده گرفته‌اند؛ پیشه تازه‌ای است

که برای گسترش رشته‌های متعددی از تولید اهمیت بنیادی فراوانی دارد.

مته‌های بادی: در شمارش نیروهای محرکهٔ گوناگونی که پیاپی به خدمت گرفته شده‌اند و تحویل آنها تا اینجا بیان شده است، از هوای فشرده، نامی نرفته است. در واقع، هوای فشرده چیزی جز یک نوع انتقال یا تغییر شکل انرژی سوری که متوالیاً هیدرولیکی، بعد بخاری و در پایان با موتور دیزل کار کرده است، نیست.

کمپرسورهای هیدرولیکی در شرایط گوناگونی در دوران طولانی تکنیکهای سنتی به‌کار گرفته می‌شدند. در سدهٔ نوزدهم برای حفر تونلهای سن‌گوتار[۱]، که در ۱۸۸۲ به پایان رسید و نیز تونلهای آرلبرگ[۲] (که در ۱۸۸۳ پایان یافت) از آن استفاده شده است. این کارگاهها سالها فعال بودند، کارهای کوه سنی[۳] چهارده سال به طول انجامید و در ۱۸۷۱ پایان یافتند. در چنین اوضاع و احوالی بود که آقای ژرمن سومیه[۴] نخستین متهٔ مکانیکی را به سال ۱۸۵۸ ساخت (رجوع کنید به مجلد سوم، صفحهٔ ۷۳۵). کمپرسورهای به‌کار گرفته شده، بخاری و ساخت شرکت کاکریل بودند. در سن‌گوتار و آرلبرگ که کارگاههای آنها به ترتیب نه و سه سال‌ونیم دائر بودند، برآمدگی محل مستعد برقراری انشعاباتی بود که تغذیهٔ کمپرسورهای هیدرولیکی را ممکن می‌ساخت.

در آرلبرگ از ستون آبی استفاده می‌شد که مانند یک پیستون هیدرولیک روی هوا فشار می‌آورد. آقای سومیه نیز از این سیستم استفاده کرده بود.

کمپرسورهای سن‌گوتار تلمبه‌های فشاری (رانشی) بودند که یک توربین ژیرار[۵] آنها را به‌کار می‌انداخت. این توربین با آب دارای ۱۰۰ اتمسفر فشار مته‌ها، را در سینهٔ کار فعال می‌کرد. این مته‌های گردان، ساخت برانت[۶] بودند.

مدلهای دیگری از مته‌های گردان در این زمان برای حفر کردن تونل زیر دریای مانش به کار گرفته شدند. حفاریها، گمانه‌زنیهای خاک و تجهیزات مقدماتی برای این کار که هنوز به پایان نرسیده است (این تونل در هفتم ماه مهٔ سال ۱۹۹۴ با یک سال تأخیر گشایش یافت ـ م.) بسیار سریع اجرا شدند.

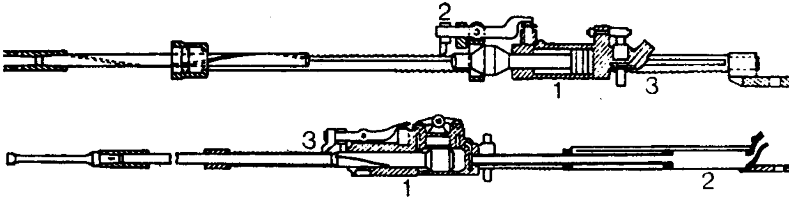
متهٔ گردان باومنت دو محور گردان داشت که هرکدام با هفت تیغ فولادی مجهز بودند. این مته، شکافی به قطر بیش از دو متر ایجاد می‌کرد که بعداً به توسط متهٔ دومی که طوقهٔ آن این قطر را

۱. Saint-Gothard رشته کوههایی از آلپ سویس که تونل آن حدود ۱۵ کیلومتر طول دارد.

۲. Arlberg بین تیرول و ورآرلبرگ، تونل آن بیش از ۱۰ کیلومتر طول دارد.

۳. Cenis رشته کوههای از آلپ در فرانسه، که تونل آن با طول ۱۳۶۶۸ متر شهر مودان فرانسه را با شهر باردونکیا در ایتالیا مربوط می‌سازد ـ م.

4. G. Sommeiller 5. Girard 6. Brandt



شکل ۵۹.مته‌های بادی (سال ۱۸۸۰).

در بالا: مته ساخت مک‌کین ـ سگن. ۱. دستگاه بادی که رنده‌گیر را می‌گرداند، طرف راست آن شیارهای مارپیچی برای گردش ایجاد شده است؛ اهرم خم شونده‌ای که پیشروی رنده را تأمین می‌کند؛ قسمت پیشروی مته.

در پایین: متهٔ ساخت آقای فرو (Ferroux). ۱. میلهٔ رنده‌گیر از داخل دستگاه باد گذشته است، پیستون روی این میله نصب شده است و یک چرخ ضامندار آن را می‌گرداند؛ ۲. دستگاه باد پیشبرنده رنده؛ ۳. دستگاه مکانیکی پیشبرندهٔ مته.

داشت تا ۴٫۳۰ متر وسیع می‌شد. این مته به توسط موتوری با هوای فشرده که جعبه دنده را فعال می‌ساخت می‌گردید. یک تونل فرعی ۸۰۰ متری نزدیک دوور[1] ایجاد شد، سپس حفر گالری زیر دریا از یک چاه ۴۹ متر عمق شروع شد. این تونل ۱۰۰ متر به پیش رفت. عده‌ای کارگر خاکهای حفاری ماشینهای ده‌متری باومنت را با دست تخلیه می‌کردند.

برای کارگاههای استخراج معادن یا حفاریهای روبازی که سنگ باید خرد شود از مته‌های ضربه‌ای شبیه مته‌های سومیه استفاده می‌شد. در این زمان‌شمار کارهای بزرگ جاری بسیار بالا بود زیرا سازندگان بسیاری به این وسایل جدید بشدت علاقه‌مند شده بودند. حرکت رفت و برگشتی را پیستونی ایجاد می‌کرد که هوای فشرده آن را فعال می‌ساخت، یک سیستم ورود و خروج هوا که یک وسیلهٔ مکانیکی متناسب با نوع ماشین به آن فرمان می‌داد روی پیستون اثر می‌گذاشت (شکل ۵۹).چرخدنده‌ای مارپیچی که توسط کلیدی می‌گردید، حرکت دورانی این مته را تأمین می‌کرد. پیشرفت مته در تونل، به‌صورت خودکار انجام می‌گرفت.

این مته‌ها از نوع فولاد آبدیده بودند. در سال ۱۸۸۴ یک متهٔ ضربه‌ای غول‌پیکر برانت که در فشار ۲۰۰۰ کیلوگرم عمل می‌کرد در منطقهٔ آهکی ۲ متر و درگرانیتی یک متر در ساعت پیشرفت داشت. در این زمان از مته‌های دوار با تیغهٔ الماسی برای مته‌کاری یا سوراخ کردن معدن استفاده می‌شد. چنین می‌نماید که کاربرد الماس صنعتی (بورت) برای این کار، ابتکار آقای له شو[2] مهندس

1. Dover 2. Leschot

فرانسوی حدود سال ۱۸۷۵ است. ده‌تایی از تکه‌های الماس را روی طوقهٔ یک استوانه که تحت فشار ۲ تا ۳۰۰ کیلوگرم بسرعت می‌گردد، نصب می‌کنند. جریانی از هوا در استوانه می‌گردد تا پاره‌های سنگ را براند.

مته‌های مکانیکی، تنها در سالهای ۱۹۲۰ با دست کار می‌کردند و کمپرسورهای دیزل، کاربرد آنها را در همهٔ کارگاههای ساختمانی عمومی رواج دادند.

مته‌های برقی: جنبش الکتریکی کردن در آغاز سالهای ۱۸۹۰ دستگاههای بزرگ مته‌کاری را در خود گرفت. این موتور در کنار کشوی حامل تیغه سوار می‌شد، و حرکت میلهٔ آن به توسط یک چرخدندهٔ مارپیچی متناوباً به یک سکتور دندانه‌دار انتقال می‌یافت و در اثر آن فنری فشرده می‌شد تا در زمانی‌که دندانه‌های سکتور در شیارهای پیچ حرکت‌دهنده درگیر نباشد ضربه بزند. این سیستم طبعاً تاکنون شماری از اصلاحات مکانیکی را تحمل کرده است. مته‌های برقی رواج روزافزونی داشته‌اند.

۴

تکنیکهای ساختمانی

در مجلد پیش دیده شد که چگونه کاربرد فلز، در سدهٔ نوزدهم، ساختار تکنیکهای سنتی ساختمان را درهم شکست. این گسیختگی با پذیرش بتون مسلح برای ساختن قطعات تشکیل‌دهنده، که کاربرد آن با نوآوریهای آقای فرانسوا انبیک[1] در آخرین دههٔ سده نوزدهم گسترش یافت، قطعی شد.

رواج بتون مسلح: در آغاز سدهٔ بیستم، تکنیکهای ساختمانهای مسکونی یا تجاری، سبب شد که مهندسان و معماران بسیاری نامبردار شوند؛ این تکنیکها زمانی توانستند تحول خود را ادامه دهند که با وسایل خاکبرداری و جابه‌جا کردن مکانیکی مهمی دست یافتند. تنها ببرکت کاربرد این وسایل است که نحوهٔ ساختمان، و در همان حال، زیبایی معماری توانستند مراحل گوناگون تغییر شکلهایی را پشت سر گذارند و به پیشرفت کنونی خود دست یابند.

مراحل نخستین این تحول، پیش از به‌پایان رسیدن سدهٔ نوزدهم به‌وجود آمدند. این جنبش با رواج روشهای انبیک تحکیم یافت. شبکهٔ امتیازدارنده‌های آن کشورهای گوناگون به‌این مهندس امکان داد تا کاربرد سیستم خود را در خانه‌های متعدد، طی ده سال مشاهده کند. ساختمان دفتر

1. Hennebique

شرکت وی در پاریس در ۱۸۹۸ـ۱۹۰۰ نشان می‌داد که بتون مسلح امکان صرفه‌جوییهایی هم در سطح و هم در حجم ایجاد می‌کند.

ساخت گران پاله[1] و پتی پاله[2] و غرفه‌های متعددی برای نمایشگاه سال ۱۹۰۰ پاریس به وی فرصت داد که سیستم خود را در تخته‌بندیهای کف، پلکانها و نیز ساختمان بعضی قطعات به‌مقیاس وسیعی به‌کار بندد. در همان اوان وی کاربرد این تکنیک را در ساخت پلها و ساختمانهای دولتی گسترش داد.

در سالهای بعد، از بتون مسلح در کشورهای مختلف و محلهای گوناگون استفاده شد. آقای اوژن فرسینه[3] در ۱۹۰۷ نخستین پلهای ساخته شده از بتون مسلح را با شابلون‌برداری باجک ساخته است. در ۱۹۱۰ نخستین طاقهای با پوشش نازک را آقای بوسیرون[4] ساخت. در این زمان دهانه طاق ده متر بود، این دهانه در ۱۹۳۸ با آشیانه‌های هواپیما در مارینیان[5] به‌توسط همان سازنده به ۸۰ متر رسید. در ۱۹۱۱ برادران پره دست به‌کار ساخت تئاتر مشهور شانزلیزه شدند که نخستین تئاتری بود که با بتون مسلح ساخته شد. در این‌باره باز هم سخن خواهیم گفت.

در ممالک متحدهٔ امریکا، نمای ساختمان را با بتون می‌پوشانیدند تا نمای سنگی داشته باشد. آقای فرانک لوید رایت ساختمانهای خود را با بتون پیش‌ساخته اجرا می‌کرد ـ چیزی که جز نوعی ساختمان سنگی نبود، البته باید درنظر داشت که کاربرد فولاد، جز در ساخت کارخانه‌ها، بیشتر اقتصادی بود.

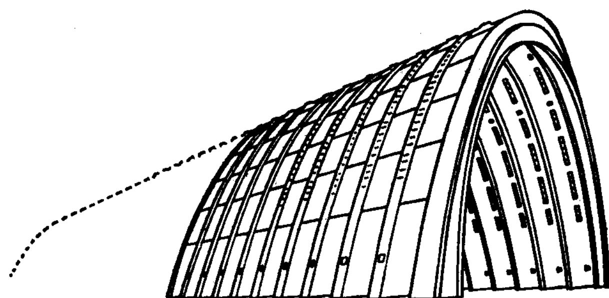
در سال ۱۹۰۶ ادیسن در ساخت بتون پیش‌ساخته مخصوص پیش بخاریها، رفها، تزیینهای درون خانه و غیره، این رشته را از محدودهٔ قطعات بزرگ و درشت بیرون آورد. این ابتکار که بسرعت کنار گذاشته شد، بعدها از نو مورد استفاده قرار گرفت.

در آلمان، آقای هاینریش کوستر[6] در ۱۹۰۸ منحنیهای سهمی‌وار با دهانهٔ ۲۰ متر را مبنای کارهای خود قرار داد. در انگلستان، در سال ۱۹۱۰ بتون مسلح از مصالح جاری در کار ساختمان بود.

کمی پس از این زمان، در ۱۹۱۵، برادران پره برای نخستین بار طاقهای بسیار نازک کوتاه قوس[7] ساختند، و در ۱۹۱۶ آقای اوژن فرسینه کشف کرد که باید بتون مربوط به آشیانه‌های بالونهای هدایت شونده فرودگاه اورلی، که اکنون خراب شده‌اند، را با ویبراتور لرزش داد، و این کار را به‌طور

1. Grand Palais 2. Petit Palais 3. E. Freyssinet 4. Boussiron 5. Marignan
6. H. Küster

۷. این‌گونه طاقها در ایران به طاق شاه‌عباسی معروف هستند.



شکل ۶۰.آشیانهٔ بالونهای هدایت‌شونده در اورلی، ساختهٔ
آقای فرسینه در ۱۹۲۱_۱۹۲۴.
طاق سهمی با قاعدهٔ ۵۰ متر.

جالبی اجرا کرد (شکل ۶۰).

تحول در کار ساخت با بتون مسلح: مصالح جدید، بتون و سیمان مسلح، بدین‌ترتیب به‌عنوان عوامل تفکر برانگیز نوین وارد رشتهٔ معماری شدند. چنین می‌نماید که کاربرد آنها نوعی تأثیر کاتالیزوری داشته است، زیرا موجب تبلور یکبارهٔ شماری از گرایشها شد که برجسته‌ترین آنها نوعی تضعیف بیان معماری به سود تفسیر نقشهٔ معماری و توزیع و نیز استفاده از بازی در حجم بود. مصالح کار که متوازی‌السطوحی بودند سطوح مستوی گردید و مکعب به‌عنوان با صرفه‌ترین حجم پذیرفته شد زیرا بیشترین فضا را داشت. اینها مشخصه‌های سبک جهانی سالهای ۱۹۲۰_۱۹۳۰ هستند.

کاربرد سیمان با بتون مسلح در تحول خود گویا سه دوره را، که از نظر زمانی متوالی و بترتیب تاریخی نبوده‌اند، دیده است.

سیمان به‌عنوان مادهٔ جانشینی با مواد دیگر شریک بوده است و کاربرد آن ویژهٔ اسکلت‌بندی، کف اطاقها و بامها بوده است، حتی زمانی‌که باری که باید تحمل کند زیاد باشد. در موارد متعددی، از آن به‌عنوان مواد روکش، مثلاً آجرهای مسلح استفاده شده است. بعضی از آثار آن همچون کارهای بسیار جدید ظاهر شده‌اند، نظیر کاری که در ۱۹۱۲ بوسیله آقای هانری سواژ با خانه‌ای واقع در خیابان واون[1] پاریس انجام گرفت که ساختمان بتون مسلح آن با آجرهای لعابی سفید پوشیده شده بود. این کار به ملاحظهٔ عقب‌نشینیهای پیاپی طبقات بالایی انجام گرفته بود که از همان زمان

1. Vavin

اتمام ساختمان، امکان می‌داد باغچه‌های پر گلی در طبقات بالا ایجاد شود.

با این حال، در این دوران و حتی پیش از آن، بعضی از استفاده‌کنندگان، در بازی کردن با بتون مسلح، با آشکارگذاشتن آن، تردیدی بخود راه ندادند؛ مثلاً آقای بودو(ژوزف آناتول) حدود سال ۱۹۰۰، پره سال ۱۹۰۳ و بعدها، آقای پیر لویجی نروی[1]. سیستمهای ساختمانی آقای بودو، همان بود که آقای کنتانسن[2] در ۱۸۹۰ به‌ثبت رسانیده بود و از به‌کارگرفتن بتون مسلح برای کشش اجتناب می‌کرد و به‌جای آن یک شبکهٔ فلزی درهم بافته را که حلقه‌های آن قطعات بتونی را به‌هم متصل می‌کردند به‌کار گرفت.

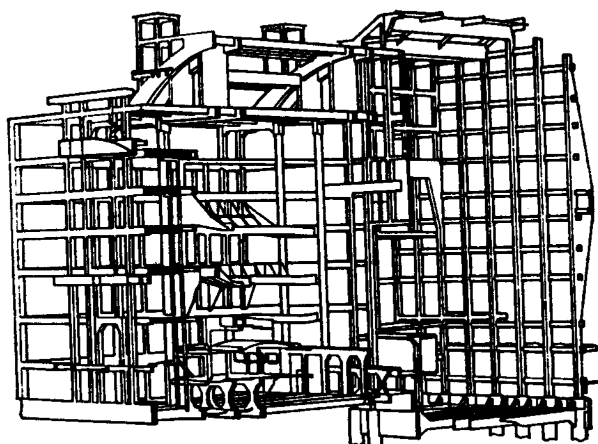
برادران پره: بتون مسلح، این مادهٔ جانشینی که بعداً به یک ساختار جانشینی تبدیل شد، به همت برادران پره به یک عنصر مورد استفاده در همهٔ ساختمان تبدیل گردید. برخلاف کار آقای بودو در کلیسای سن ژان دومونمارتر که در آن‌هم بتون و هم آجر مسلح به‌کار رفته است، ساختمانهای متعدد برادران پره در همان زمان، ازجمله ساختمان معروف خیابان فرانکلین، اسکلت‌بندی سراسر بتون مسلحی دارند که آشکار و دارای نمای مسطح است، که زوایا، پنجره‌ها، ستونهای بالکون و غیره در آن قرار دارند. بدین‌ترتیب، نوعی رابطه بین یک مادهٔ جدید و بیان معماری آن ماده و نوعی آزادی در تقسیم درونی دیده می‌شود. این اسکلت‌بندی بتونی است که در کارهای پره نظم در معماری را تأمین می‌کند. برپایهٔ نوع بتونی که در قالب‌بندی (کفراژ) ریخته و یک تکه می‌شود، چاره‌جویی برای تزئین از این پس ناگزیر می‌نماید.

بنابراین در یک آپارتمان، نقشهٔ آرایش داخلی، انعطاف‌پذیر شد؛ پشت‌بندها صرفاً ستونهای بتونی هستند و تیغه‌ها دیگر، باری را حمل نمی‌کنند. این اصول به‌طورکامل در دیگرکارهای همین معماران اجرا شده است، که یکی از مشهورترین آنها، تئاتر شانزلیزه (اجرا در سالهای ۱۹۱۱ـ۱۹۱۳) نشان پایان گرفتن معماری سدهٔ نوزدهم و ورود به معماری مدرن است.

کار آقایان اوگوست و گوستاوپره، ساختن بنایی در یک زمین ۳۰۰۰ متری بود که باید شامل تئاتر بزرگ، یک سالن کوچک کمدی، دو سالن تمرین و یک گالری نمایشگاه باشد. تمام ساختمان، توسط چهارگروه از دو نقطهٔ حمال برای نگاهداری کفها و بالکونها نگاهداری شده است. دو پل بتونی با قوسهای ۲۸٫۵۰ متر دهانه، سردرها را محکم می‌کنند و هر دوکف بالایی را نگاه می‌دارند. سقف سالن بزرگ به یکی از این کفها قلاب شده است. پایداری دیوار ته سن، تنها به‌توسط دو دیوار تقویتی عمودی و یک راهرو با دیوارهای کوتاه تأمین شده است (شکل ۶۱).

در سالن گرد آن، بالکونها از دیواره‌های بتونی حامل پلکانها جلوتر آمده‌اند. کف راهروها، از قطعات گرد و سختی تشکیل شده‌اند که تیغه‌های بین آنها از سویی به‌توسط قلابها و از سوی دیگر

1. Pier Luigi Nervi 2. Contancin



شکل ۶۱. آکسونومتری ساختار تئاتر شانزلیزه، پاریس.
ساخت: اوگوست و گوستاوپره، ۱۹۱۱ـ۱۹۱۳.
ساختمان، سراسر توسط گروههای نقاط حمال، که سر در بالای سالن را تشکیل می‌دهند، نگاهداری می‌شود. همهٔ ساختمان از بتون مسلح است.

با شمع زدن محکم شده‌اند تا پیش‌نشستگی تأمین شود. دالان ستوندار ورودی و پلکانها، بین سالن بزرگ و سر در، ساختار مشابهی دارند و در بالا، سالن کمدی را دربرگرفته و حمال آن هستند.

پی ساختمان باید متناسب با یک زمین رسی باشد که یک سفرهٔ آب را پوشانده است. این سفره، همطراز نزدیکترین قسمت رودخانهٔ سن است. طاقهای وارونهٔ بزرگ که از دامنهٔ بتونی به بالا ادامه یافته‌اند و پلهای مشبک بزرگ با دهانه ۲۳ متر دهانه را نگاه می‌دارند؛ پلهایی که در گشتاورهای خمشی ۲۵۰ تن و بارهای گسلندهٔ بیش‌از ۱۰۰ تن مقاومت می‌کنند. ستونهای اصلی چوب‌بست بار کفها و اسکلت‌بندی طبقات بالا را تحمل می‌کنند.

اینکه این تئاتر شانزلیزه را هنوز به چشم یک نمونه می‌نگرند، مرهون کیفیت ساختار و تعادل خوب ساختمان و هنرهای تجسمی آن است.

سیستم پره را می‌توان نزدیک به سیستمهای اجراشده در شیکاگو و آلمان در همان زمان دانست، گرچه مصالحی که در آن به‌کار رفته است، مثلاً فولاد و در منبع آب پوزنان[1] که در سال

1. Poznan

۱۹۱۱ آقای هانس پولتسیش[1] آن را ساخته است. ساختمان Jarhundret Halle ساخت ماکس برگ[2]، همزمان تئاتر شانزلیزه نیز از بتون مسلح است اما هدف دیگری را دنبال می‌کند. این یک فضای بزرگی است که گنبدی از قوسهای شعاعی و قوسهای متحدالمرکز آن را پوشانده است. این گنبد بر استوانهٔ کوتاه و پهنی قرار دارد که از یک ردیف قوسهای بسیار خمیده ساخته شده است. بدین‌ترتیب، حصاری غیر حمال و بنابراین بسیار شکافدار است.

از میان آنهایی که نقش بتون مسلح را بهتر درک کرده‌اند می‌توان از تونی گارنیه[3] نام برد که در برههٔ ۱۹۰۱_۱۹۰۴ یک شهر تخیلی را طرح کرد که بعضی قسمتهای آن را خود وی در گذر سی سال در لیون ساخت.

همان‌طورکه در رشته‌های متعدد دیگری دیده شد، جنگ جهانی دوم دستاوردهای تازه‌ای برای تکنیکهای ساختمانی برجای گذاشت و مقام آنها را بر مرتبه‌ای رسانید که بنابر نیازمندیهای بازسازی سریع، این رشته آغوش خود را در برابر نوآوریهای سریع بگشود ـ نوآوریهایی که تأثیر چشمگیری بر طرز ساختهای بتونی داشته‌اند.

مصالح جدید: پیدایش مصالح جدید، از قبیل انواع فولادهای ویژه، مصالح سبک، فراورده‌های پلاستیکی، انواع شیشه‌ها با عملیات تازه‌ای با بتون، برای پیش ساخته شدن در آمیختند. این هر دو عامل بر قسمت هنری معماری عمیقاً اثر گذاشتند. اما این واقعیت را نباید از یاد برد که این مصالح نوین در تکنیکهای سنتی هم به‌کار گرفته می‌شدند، و برعکس، مصالح سنتی طبیعی مانند سنگ، لوح یا چوب و آجرهای معمولی نیز در تکنیکهای نوین مقامی دارند.

برای تسهیل کاربرد آنها، یا از طریق آماده‌سازیهای خاص، مثلاً چوب یا زوائد چوبی، یا با بهتر کردن شرایط کاربرد آنها، مثل سنگ کارهایی شد. همهٔ این دستکاریها در خصوصیات طبیعی این مصالح، در مرحلهٔ پیش از خودکار ساختمان، مستلزم تجهیزات مکانیکی پیشرفته‌ای بود. وسایل جابه‌جاسازی، حمل‌ونقل و بالابری نیز، مانند آنچه که در کارگاههای بزرگ بازسازی خرابیهای جنگ، و در زمانی نزدیکتر به ما، «نوسازی» لفظی همه شهرها آمده است، در پیاده کردن برنامه‌های تهیه شده، به کمک وسایلی که در هر مرحله در اختیار مسؤول کارگاه است، سهم بسیار مهمی دارند.

تحول تکنیکهای ساختمان و همراه با آنها، بخش معماری، از اواخر جنگ جهانی دوم چشمگیر بوده است. گرچه در چشم یک انسان کنونی، زیباییهای معماری در سراسر جهان، یکسان است، گوناگونیهای وسایل تکنیکی، در واقع، پیشرفت مداومی داشته است. بنابراین، هر معمار باید به امکانات تازهٔ کار روی سطوح و حجمها، آثار بدست آمده از کاربرد مصالح را هم بیفزاید.

1. Poelzig Hans 2. Max Berg 3. Tony garnier

در ردیف نخست این آثار، فراورده‌های متالورژی، سیمانها و بتونها جای گرفته‌اند. هر چند که بعضی از آنها، همان‌طورکه دیدیم، از سدهٔ پیش، حتی به‌شکل بسیار اخیر بتون مسلح، به‌کار گرفته می‌شدند، آماده کردن آنها بوسیلهٔ صنایع ساخت این مصالح بمنظورهای معین بیشتری، برای سازنده، عامل تکنیکی تازه‌ای در این زمینه است.

فولاد و بتون: فولاد درگذر این دوره، به مادهٔ اصلی ساختمان تبدیل شد، که به‌شکل تنها یا همراه با بتون به اشکال گوناگون به‌کار می‌رود. رشتهٔ سیدرورژی برای سازندگان جهت بخشهای حمال اسکلت فلزی، پروفیلهایی تهیه کرد. به پروفیلهای به‌دست آمده از نورد گرم، پروفیلهای ساخته شده با نورد سرد نیز افزوده شدند؛ این پروفیلها از خم کردن ورقهای نازک یا ضخیم با پرس، یا شکل‌دهی با ماشین غلافکنی تولید می‌شوند.

آرماتورهای مخصوص بتون مسلح با میلگرد از فولاد نرم، سپس آهنهایی که پس از مفتولکشی، متحمل تابیدگی در حالت سرد می‌شوند تهیه می‌گردند.

سیمان که در بتون جدید به‌عنوان چسب یا ملاط به‌کار می‌رود، در سدهٔ نوزدهم ساخته شد. تولید صنعتی آن، خواص ثابتی را برای آن معین کرد که به ترکیب شیمیایی و طرز تهیهٔ آن بستگی دارد. سیمان جدید، مخلوطی از سنگ‌آهک، خاک رس، کوارتز و اکسیدآهن است که درصد کمی انیدریدسولفوریک و (اکسیدمنیزیم) به‌همراه دارد. پخت آن حدود ۱۴۰۰ درجه حرارت لازم دارد. ساخت سیمانهای محتوی هوا (سیمان سبک) را با افزودن موادی به‌آن، در زمان مخلوط کردن آن با آب یاد گرفته‌اند. حبابهای ریز هوا که در بتون پراکنده می‌شوند گرایش به ترک‌برداری را کاهش می‌دهند.

اما بتون مسلح به‌علت دخالتهای گوناگون شیمیایی میلگردهای آن به‌عنصر بسیار پیچیده‌ای تبدیل می‌شود. وانگهی اشکال بسیار اخیری که نتیجهٔ عملیات مکانیکی: لرزش و پیش تنیده کردن هستند، و هر دو، تراکم بیشتر بتون را ایجاد می‌کنند، و سبب کاهش وزن مردهٔ (بار ثابت) آن می‌شوند. گرچه هر دو عمل جنبهٔ اقتصادی دارند، دارای یک جنبهٔ فنی هم هستند که صرفاً نتیجهٔ یک تجربهٔ عملی بود که بسرعت گسترش یافت. این کار در آغاز با پیش فشرده‌سازی انجام می‌گرفت، اما بعدها با پیش تنیده کردن صورت پذیرفت. علاوه‌بر تکنیک پیش تنیده کردن، کاربرد یک بتون انبساط یابنده که با روش مخصوصی از تهیهٔ سیمان به‌دست آمده است، با تأثیر روی آرماتور، متورم می‌شود و نوعی تنش فشاری ایجاد می‌کند.

تحقیقات روی ترکیبات گوناگون بتون، اخیراً باز هم به‌ساخت نوعی بتون سبک انجامیده است

که یکی از اجزای متشکلهٔ آن یک ماده سخت اما دارای چگالی کم است. این ماده با نوعی دستکاری خاک رس، تورب یا شیستهای معدنی تهیه می‌شود که چیزی شبیه به خاکروبهٔ انباشته پدید می‌آید. بتون سبک برای تهیهٔ قطعات پیش‌ساخته بسیار مناسب است ـ این کاری است که بعدها انجام گرفت.

دیده‌می‌شود که چگونه موادی که اصل آنها نسبتاً قدیمی است توانسته‌اند تکنیکهای کاربردی تازه‌ای به‌وجود آورند. روش اسکلت‌بندیهای مختلط، که بخشی از فولاد و بخشی از بتون مسلح، چسبیده به‌یکدیگر است به ما نوید می‌دهد که می‌توان دقتی در حدود میلیمتر را توقع داشت، که از آهنکاریهای فعلی ساختمانها بسیار جلوتر است. همکاری بتون مسلح و فولاد برپایه تکنیک دیگری، در گذر دههٔ ۶۰ برای ساخت برجهای بلند، توسعه یافته است. این تکنیک اسکلت‌بندی مختلط چنین است: هسته‌ای عمودی از بتون مسلح، که محتوی همهٔ محوطهٔ ساخته نشدهٔ مرکزی است در یک اسکلت‌بندی فولادی که کفهای اطاقها و نماهای بیرونی را تحمل می‌کند.

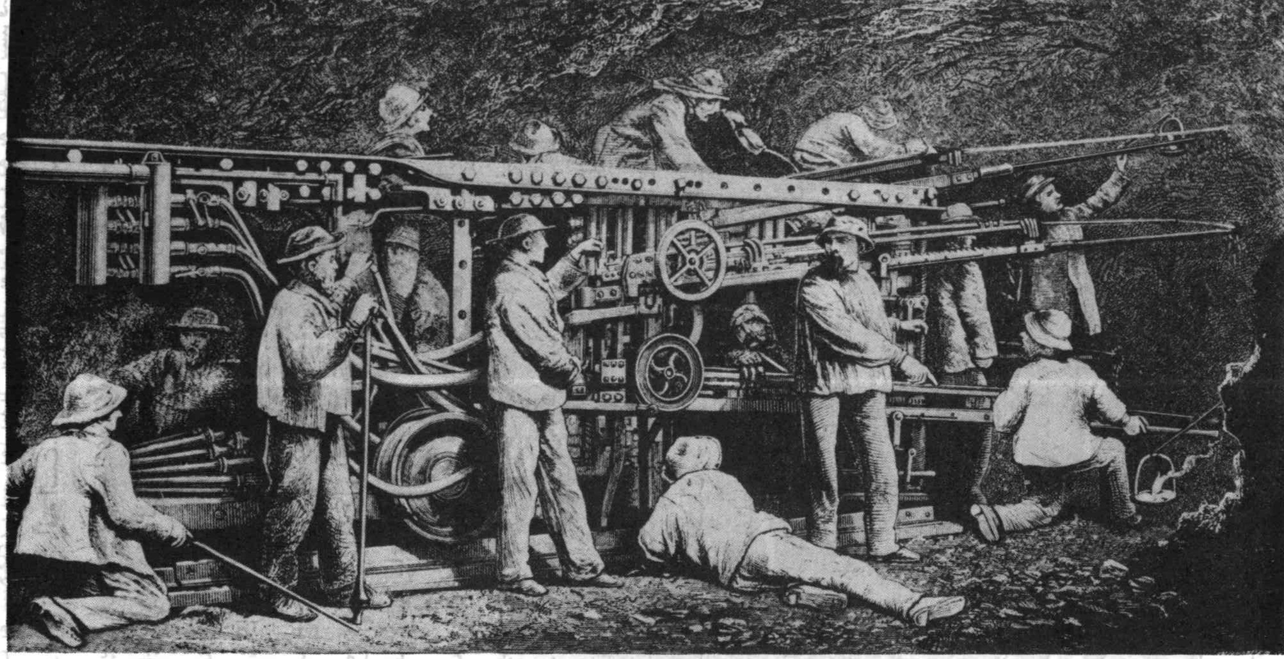
آلومینیم، شیشه و فراورده‌های سنتزی: برای پوشش بیرونی یا درونی مصالح دیگری بسرعت به‌کار گرفته شدند. اینها فلزهایی مانند آلومینیم بودند که سطح آن را می‌شد تحت تأثیر عملیات شیمیایی قرار داد. اما اینها ضمن فراوانی زیاد، بسیار گوناگون بودند و صنعت شیمی سنتز به‌تازگی، در آغاز دههٔ ۵۰ تولید آنها را شروع کرده است.

مواد بسپارشی و بسپارشی تراکمی (پلی کندانساسیونی)، ردیف گسترده‌ای از خواص را ارائه می‌کنند که برای منظورهای معینی می‌توان آنها را به‌کار گرفت. سلامینها[1]، سختی چینی را دارند؛ استیرنها به سبکی و بافت بالزا[2] (چوبی در امریکای مرکزی با چگالی ۰٫۱۵ ـ م) رسیده‌اند؛ وینیلها و سیلیکونها به شدت آب ناپذیرند، اپوکسی دربرابر ضربه، مقاومت ورقهای فولاد را دارد، درحالی‌که کمی هم شفاف است.

یکی از سنتی‌ترین مصالح دارای ریشهٔ شیمیایی، شیشه، پیش از جنگ جهانی دوم، دیگر برای مسدودکردن صرفاً قسمتهای شیشه خوردرها به‌کار گرفته نمی‌شد. این ماده، در اثر روشهای ساخت بسیار پیشرفته، نظیر آب‌دادن یا کشش به‌شکل نخ و در سایهٔ ارائه آن به‌شکل آجر، فرش پیاده‌رو، سفال به یک عنصر ساختمانی بسیار کارآمد تبدیل شده است: اجرای نماهای شیشه‌ای، درها، تیغه‌ها وکفهای نیم‌شفاف، قالبهای پیش‌ساخته، عایقها و محفوظ نگاهداشتن هوای محلها.

مواد سنتی با ریشهٔ طبیعی هم از دستکاریهای تازه‌ای سود برده‌اند. مثلاً سنگهای تراشیده شده

1. celamine 2. balsa



تابلوی ۱۵. متهٔ بادی سومییه Sommeiller (حدود ۱۸۶۰).

صفحات نازک به سنگهای زینتی‌نما تبدیل شده‌اند. بویژه چوب که به لطف پیشرفت تکنیکهای تبدیلی، کاربردهای تازه‌ای یافته است. در آلمان در سال ۱۹۰۷ توانستند تخته‌های چندلایی درست کنند؛ اما تنها پس از تحقیقات متمادی از ۱۹۳۴ـ۱۹۳۹ و بویژه پس از پیدایش چسبهای سنتزی در آغاز سالهای ۵۰ بود که مصالح جدید چوبی رواج فراوان خود را آغاز کردند. در پرتو تکنیک چندلایی‌سازی با چسب می‌توان تیرهایی را که شکل متفاوت با تیرهای طبیعی دارند، اصلاح کنند و بدین‌ترتیب شکل آن را متناسب با گشتاورهای خمشی و اینرسی (ماند) موردنظر تغییر دهند. تکنیکهای اصلاح چوب بعداً از مرحلهٔ تختهٔ چندلایی فراتر رفت و توانستند چوبهای قالبگیری شده، چوبهای مسلح و چوبهای شکل یافته با چسب بسازند. چوبی که به‌شکلهای گوناگون مداوا شده است در ساخت دیوارهای آویزان یا پرده‌ای به‌کار گرفته می‌شود.

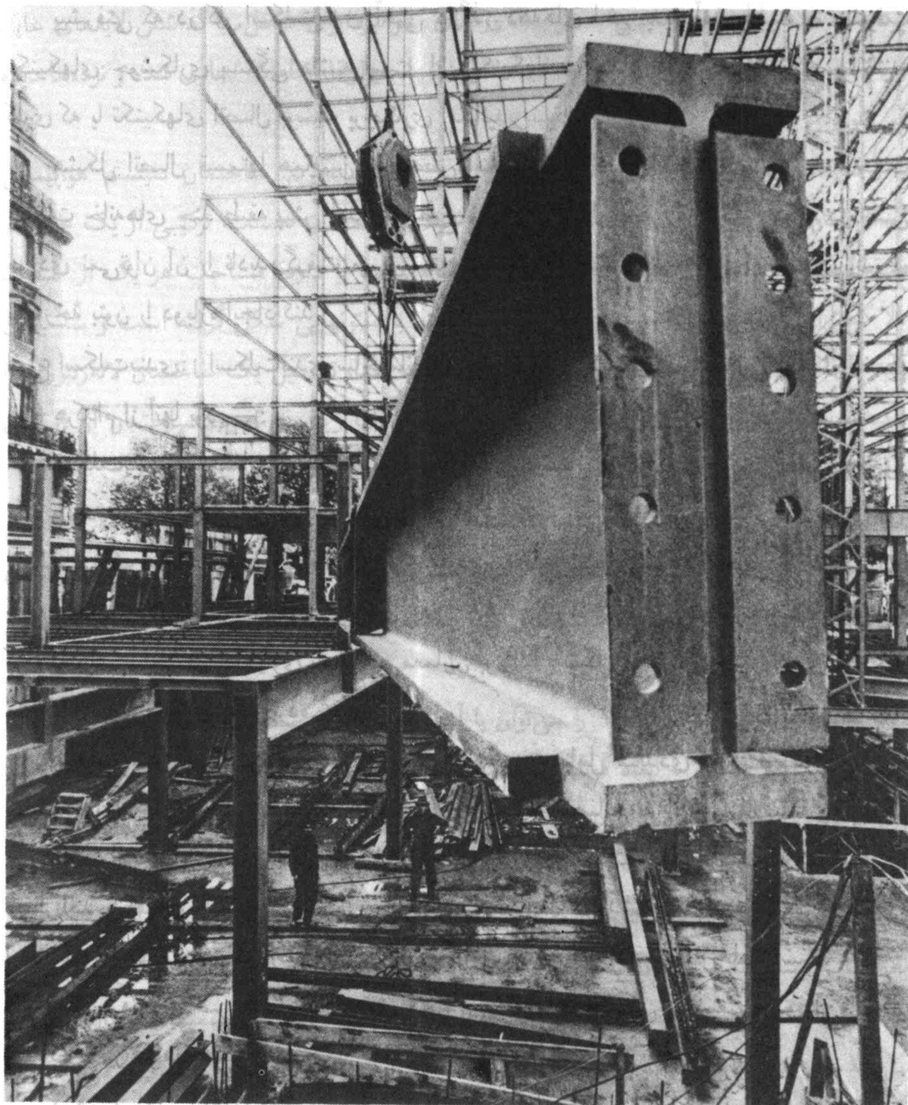
شمعهای حمال: این گوناگونی سریع مصالح ساختمانی نشان ازگرایشی می‌دهد که در سدهٔ گذشته نیرومند شده بود و در طی دهه‌های ۵۰ و ۶۰ به تعویض دیوارهای حمال با یک ردیف شمعهای حمال انجامید. در بحث فولاد و بتون تذکر دادیم که نوعی بازگشت به دیوارهای حمال ـ گرچه در شکل دیگر آن، که بعداً از آن سخن خواهیم گفت ـ ؛ هم در کار بوده است.

ساختن خانه‌ها با اسکلت‌بندی و قطعات پوششی، خصلت نوعی تکنیک را یافته بود که محاسبهٔ مکانیکی در آن اهمیت درجهٔ یک را داشت. این خصلت در طرح اسکلت‌بندی، که فولادی، بتون مسلحی یا مختلط بود، درنظر گرفته می‌شد.

نخستین اسکلت‌بندیهای چدنی، قفس بدون انعطافی را تشکیل دادند. باکاربرد فولاد، توانستند تا حدودی انعطاف در اسکلت ساختمان القا کنند. اما در همان زمان ساخت اسکلت‌بندی بتون مسلح باز عنصر انعطاف‌ناپذیری را پیش آورد و حال آنکه ضریبی از انبساط در نقشهٔ معماری (افقی) درنظر گرفته می‌شد.

راه‌حل موردنظر هرچه باشد، محاسبه برای پاسخ به وظایف اساسی اسکلت: انتقال فشارها به زمین درصورت بنا کردن ساختمان چند طبقه، یا متمرکز کردن این فشارها در زمین یک ساختمان یک طبقه حتی با دهانهٔ عریض، دخالت می‌کرد.

در اوایل کار، یک مشکل ثابت می‌بایست به کمک راه‌حلهای تازه‌ای حل شود، و آن، انعطاف‌ناپذیری ساختمان است. در دورانهای پیش، مصالح بنایی برای جذب فشارهای جانبی دخالت می‌کردند. بنابراین، توجه مهندسان می‌بایست بویژه روی قفل و بستهای ساختمان تمرکز می‌یافت.



تابلوی ۱۶. اجرای اسکلت فلزی یک ساختمان وزارت دفاع (۱۹۶۸).

ساختمانهای اسکلت آهنی، سیستم مثلث‌بندی را از ساختمان چوبی اقتباس کردند. تحقیقات نخست متوجه تقویت اتصالات سنتی شد، سپس به‌طرف یکپارچه کردن ساختمان گرایش یافت.

پیشرفتی که در کار اسکلت‌بندی آهنی درگذر دهه‌های اخیر پدید آمده است به پیشرفت تکنیکهای جوشکاری بستگی داشته است. این تکنیکها، ساختمان یکپارچه را ممکن ساختند، کاری که با تکنیکهای اتصال بوسیله پرچکاری امکانپذیر نبود.

مشکل اتصال قسمتها همچنین به محض اینکه مسألهٔ اتصال قطعات پیش‌ساخته جهت ساخت خانه‌های چند طبقه پیش آمد، باز مطرح شد، برای پایداری دربرابر فشار باد، که در چنین موردی نمی‌توان آن را نادیده گرفت می‌بایست سیستمی از اتصال طرح شود که انعطاف‌ناپذیری یکپارچهٔ بتون را دوباره ایجاد کند.

انواع اسکلت‌بندی: اسکلت‌بندی ساختمانهای چند طبقه و یک طبقه، مشکلاتی پدید آوردند که ویژهٔ هرکدام از آنها بود.

اسکلت‌بندی ساختمانهای چند طبقه، مستلزم کاربرد ستونهای عمودی و پلهای افقی، همچون یک واحد مشخص بود. این حالت حتی زمانی‌که ساختمان، یکپارچه است هم وجود دارد. لزوم برافراشتن یک اسکلت‌بندی فلزی از این نوع، بزودی به طرح تیرهای مهاری راه برد که می‌شد آنها را در محلهای لازم قرار داد. آقای وایرندل[1] در ۱۸۸۰ برای این وظیفه یک تیر عرضی را توصیه کرد، که برای ساختمان انستیتوی پادشاهی معماران بریتانیا به‌شکل قطعات پرچ شده‌ای با طول ۱۸ متر در ارتفاع ۳ متری به‌کار برده شد.

انتخاب میان اسکلت‌بندی آهنی و بتونی بستگی به‌عوامل متعددی دارد. نوع اول مناسب ساختمانهای، حتی بسیار بلند، با بارکم است که به‌کار بردن مصالح در آنها بسیار ساده وکم‌هزینه می‌باشد، مانند ساختمانهای دفاتر و هتلها، نوع دوم در مورد دستگاههایی است که ساختمان را می‌لرزانند یا کفهای طبقات را سنگین می‌کنند، مثل انبارها، درگذشته دیدیم که یک نوع بینابینی اخیراً پذیرفته شده است که از یک هستهٔ بتونی درون قشری از فولاد تشکیل یافته است.

به‌کارگرفتن عناصر یک اسکلت‌بندی مشروط بر الزامات تکنیکی و صنعتی، پروفیل و شکل قطعات و نیز عوامل دیگر است.

درهمین زمان بناهای مهمی ساخته شده‌اند که مستلزم این یا آن راه‌حل برای پاسخگویی به مشکلات فنی و اقتصادی متناسب با برنامه اجرائی بوده‌اند. از مهمترین ساختمانهای با اسکلت فلزی در سالهای ۱۹۶۰، ساختمان *ae'rogare sud* در اورلی است که در ۱۹۵۶ بنای آن شروع شد.

1. Virendel

اسکلت فلزی این بنا، پایه‌ای از بتون مسلح دارد. نماهای آن از دیوارهای پرده‌ای (آویزان) در اسکلت‌بندی است. در نمای بیرونی این ساختمان شیشه‌های جام میناکاری شده، آلومینیم پرداخت شده برای راهرو منتهی به هواپیما، ورقهای گالوانیزه برای داخل، با گذاشتن لایه‌های عایق و بالاخره فولاد زنگ‌ناپذیر یا آلومینیم برای سقفها، کفها، دیوارها، قطعات نجاری شده و نرده‌ها دیده می‌شوند.

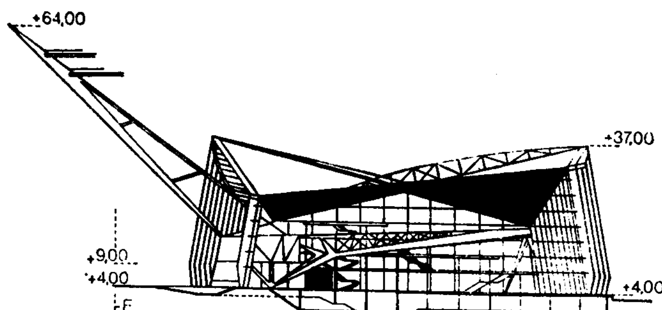
دو نمونه برای نشان دادن کاربرد بتون در ۱۹۶۰ می‌آوریم: ساختمان سیستم هواپیمایی اسکاندیناوی درکپنهاگ و ساختمان پیرلی[1] در میلان. ساختمان نخست، ترکیبی از یک خانهٔ دو طبقه است که برای ۲۲ طبقهٔ دیگر، نقش پایهٔ ظاهری بنا را دارد. مساحت هر یک از طبقات بالا کمتر از پایه است. ساختمان چهار طبقهٔ نخست، با ستونهایی شکل گرفته است و ساختمان بقیهٔ طبقات دارای دیوارهای حمال بتونی هستند که با کفها، تشکیل یک ساختمان لانه‌زنبوری را داده‌اند. ساختمان پیرلی، ۳۵ طبقه دارد که دو طبقه از آنها زیرزمین است. ساختمان آن از بتون پیش تنیده است.

اسکلتهای فلزی: گالری دستگاههای نمایشگاه سال ۱۸۸۹، که در مجلد سوم صفحهٔ ۶۲۳ شرح آن رفت، بزودی نوع کامل ساختمانهای بسیار پیشرفتهٔ تکنیکی عصر ما، در قسمت اسکلتهای ساختمانهای یک طبقه را عرضه کرد. اکنون در آنجا به‌جای ایستگاههای بزرگ راه‌آهن، آشیانه‌هایی برای هواپیمای باری گذاشته شده است.

تنگناهای گالری سال ۱۸۸۹ را می‌توان با آشیانه‌های اورلی ساخت ۱۹۵۷ـ۱۹۵۸ مقایسه کرد: جای دادن وسایل با ابعاد گوناگون اما نامشخص، بدون هدر دادن جای؛ ردیف کردن این هواپیماها روی یک خط، دربرابر در آشیانه. اندازه‌های زیر به‌دست آمده بود: عرض مفید ۴۵ متر؛ با ارتفاع آزاد ۱۵ متر؛ دهانه ۲۱۶ و ۱۶۲ متر. نوعی اسکلت فلزی برپا شد که بام را حمل می‌کند و تشکیل سایبان می‌دهد. مساحت مفید آن حدود ۱۰۰۰۰ مترمربع است. راه‌حلهای تکنیکی، ملاحظات زیبایی‌شناسی را که با رنگهای مناسبی تقویت شده‌اند، از بین نبرده‌اند: آبی، آبی و زرد در داخل، رنگ زرد ویژه قطعات اصلی اسکلت قرار داده شده است و قسمتهای حمال را نشان می‌دهد.

راه‌حل اصلی دیگری برای ساختن یک اسکلت‌بندی فلزی وسیع، در همان دهه پیش کشیده شد. این راه‌حل نخستین بار توسط آقای گیوم ژیله معمار و آقایان رنه سارژه[2] و ژان پرووه[3] مهندس برای ساخت غرفهٔ فرانسه در نمایشگاه بروکسل سال ۱۹۵۸ اجرا شد. در این راه‌حل از دیوارهای

1. Pirelli 2. R. Sarger 3. J. Prouvé



شکل ۶۲.غرفه فرانسه در نمایشگاه بروکسل.
ساخت آقایان گیوم ژیله معمار، ورنه سارژه و ژان پرووه مهندس در سال ۱۹۵۸ با دیوارهای پیش تنیده.

بتونی پیش تنیده‌ای استفاده شده است که بوسیلهٔ تیرآهنهایی نگاه داشته شده‌اند. این تیر آهنها روی یک بلوک بتونی به‌طور مایل قرار گرفته‌اند. یک شبکهٔ آهنی کف، بقیهٔ اسکلت را تشکیل می‌دهد (شکل ۶۲).

پیکانی که از زمین تا ۶۰ متر افراشته شده‌است تعادل بنا را حفظ می‌کند. با این تکنیک جدید توانستند دیوارهایی را بالا آورند که حجم این ساختمان وسیعاً بدون اتکا را در تمام ابعاد محدود می‌کرد. مساحت تحت پوشش ۱۲۰۰۰ مترمربع است به‌طول ۱۵۰ متر و عرض ۸۰ متر با ارتفاع آزاد ۳۲ متر. این تکنیک که اینک اجرای آن در بناهای صنعتی، به‌علت داشتن سالنهای دارای دهانهٔ بزرگ بسیار طرفدار دارد، کمی پس از اواسط سدهٔ پیش نوسازی شد. آقای شارل هانری بنار[1] در سالهای ۱۹۱۶ـ۱۹۱۷ پیش ساخت ردیفی قطعات راستخطی را طرح کرد. این تکنیک ساختمانی که در میان دو جنگ جهانی پذیرفته شده بود در طی نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم تعمیم یافت.

تکنیک نوین ساخت تخته‌های چندلایی برای این مصالح، میدان بسیار فراخی را گشود زیرا امکان فرار از محدودهٔ طول الوارها را ایجاد کرده است. در جریان جنگ جهانی دوم، این‌گونه چوب‌بستها در کشورهای غنی از جنگل نظیر ممالک متحدهٔ امریکا که دغدغهٔ صرفه‌جویی در مصرف فولاد را داشت، به‌خدمت گرفته شدند.

اسکلت بتونی: بتون مسلح نیز از مصالح ویژهٔ اسکلتهای بزرگ است. روشهای کاربرد و اشکال ساخته‌شدهٔ آن بسیار گوناگون می‌باشند.

1. Ch. H. Besnard

پوشش سطوح بزرگ به توسط ستونهای قارچ‌مانند نیز با پیشگامی آقای بودو بوده است. این سیستم بعدها با موفقیت به‌توسط فرانک لوید رایت در ساختمان دفاتر شرکت جانسون واکس[1] در سالهای ۱۹۳۶ـ۱۹۳۹ به‌کار گرفته شد. آقای پیر لویجی نروی در اینجا در دههٔ ۵۰ دعوت به همکاری شد. تحقیقات وی نه‌تنها در تکنیک، که در اقتصاد ـ کاهش فولاد، کوچک شدن قالب‌بندی ـ هم تأثیر داشته است. وی از سه عنصر پایه: تیرهای عرضی پیش‌ساختهٔ باریک که با داشتن یک منظرهٔ مواج، پذیرای کف، سقف یا بام است؛ پانلهای پیش‌ساخته و انحنادار سقف؛ سیستمی از سیمان مسلح برای ساختن الواح پیش‌ساخته.

آقای نروی غالباً از بتون در ساخت خرپای آشیانه‌های هواپیما یا برای سقف ساختمانهای بازار مکارهٔ تورینو استفاده کرده است.

از سوی دیگر باید گفت که تکنیک پیش نشستگی (آویختگی) کاربرد ویژهٔ بتون است. نمونه‌های کاربرد آن فراوانند و از آن جمله می‌توان از ایستگاه ترمینی[2] در رم نام برد که در ساختمان آن معماران متعددی در سالهای ۱۹۳۱ـ۱۹۵۱ شرکت داشته‌اند. یک نبشی دو سر (Z) باز و عرضی، سالن منتهی به یک سایبان پیش‌نشسته را متجلی می‌سازد. امکان دارد که این تکنیک بتون از کاربردهای فولاد الهام گرفته‌شده باشد نظیر آشیانه‌های فرودگاه اورلی که از آن سخن گفتیم.

مصالح پوشش: از زمانی‌که ساختمان با اسکلت‌بندی پیشرفت خود را آغاز کرد، دیوارهای حمال سنتی، اهمیت خود را به نفع دیوارهای پرده‌ای، که با مصالحی باگوناگونی روزافزون ساخته می‌شدند، و در بالا به آنها اشاره شد ـ از دست دادند.

مسألهٔ پوشش فی‌نفسه تکنیک تازه‌ای نبود زیرا از آن‌هم برای ساخت تیغه‌های داخلی و هم دیوارهای خارجی بسیار قدیمی و با اشکال گوناگون استفاده می‌شد ـ تحولی که از چند دههٔ پیش پدید آمد که مرهون اجتماع تحول اسکلت‌بندیها و مصالح است، بویژه با کثرت ترکیبات به‌دست آمده ممتاز شده است. از نمای کلی به‌نمای تکه‌تکه، باز به تکنیک پیش‌سازی رسیدند.

کاربرد تیغه‌های قابل حمل، به‌شمار امکانات در دسترس معماران افزوده شد. نمونه‌ای از کاربرد این تکنیک، در ۱۸۴۵ در Washington Stores نیویورک است. منطقی است که تأثیر ژاپنیها در ممالک متحدهٔ امریکا در این کار، لااقل برای ساکنان آن محسوس باشد. این تأثیر مثلاً Casa Study در سانتامونیکا (کالیفرنیا)، ساخته آقای چارلز ایمز[3] در ۱۹۴۹ انکارناپذیر است؛ همچنین بر جهتگیری معمار نامبرداری مانند میز وان در روئه[4] مثلاً در ساخت خانهٔ فینزورت[5] در

1. Johnson Wax 2. Termini 3. Ch. Eames 4. Mies Van der Rohe 5. Fainswort

۱۹۵۰ تأثیر گذاشته است.

تخته‌های کف، مانند تیغه‌ها و دیوارها یا نماهای پانلی آویزان، تا حدودی به قطعات پوشندهٔ افقی تبدیل شده بودند. وانگهی در جنب تخته‌بندیهای بدون بار، طبق سیستم سنتی ستونها و پلها (تیرهای حمال سقف) ، این سازندگان قطعات پیش‌ساخته‌ای را به‌کار گرفتند که با داشتن اندازه‌های متوسط به قطعات پوششی حمال تبدیل شده بودند، با قطعات حمال در دو مسیر، این پوشش نه‌تنها بار را حمل می‌کند بلکه نقش یک قیم (راست و سفت نگاهدارنده) و حتی یک عامل ضد فشار باد را دارد. تحقیق دربارهٔ دهانه‌های بزرگ، بزودی به بررسی شکلهایی گرایید که درگذشته به‌عنوان پوشش فضاهای بزرگ با حداکثر صرفه‌جویی در تکیه‌گاه شناخته شده بودند. با خم کردن یا انحنا دادن به جدارهای افقی یک ساختار به راه‌حل زیبایی دست یافتند که علاوه‌بر آن، این تکنیک، جای گشتاورهای خمشی را به یک فشار محوری مستقیم در سطح بلوکهای بتونی منتقل می‌کرد. در پایان این تحقیقات به ساختمان پوسته‌ای (کوکیل) راه یافتند که براساس نقاط اتکا، یا با تکمیل قطعات عمودی یا قطعاتی که با شکل کامل سه‌بعدی پشتیبانی نمی‌شدند، طرحریزی می‌شدند.

گذر از بلوک بتونی به پوسته: در سال ۱۹۰۸ آقای روبر مایار[1] مهندس سویسی با تجربهٔ خود که در کار ساخت پلهای بتون مسلحی به‌دست آورده بود علاقه‌مند شد که درباره تخته‌بندیهای کف بدون پل تحقیق کند. وی این تکنیک را دو سال بعد در ساختمانی در زوریخ برای یک انبار، با ستونهای قارچ‌مانند اجرا کرد. این ستونها که نقش دیافراگم را بازی می‌کنند باید بتوانند دربرابر فشارهای محوری توزیع شده، بایستند. گسترش این تکنیک، مرهون محاسبات دقیق و نیز تجربیات عملی زیادی بود که بر تحلیل عمیق و مقدماتی جنبه‌های گوناگون این مسأله تکیه داشتند.

این کوششها بدینجا رسید که نتایج به‌دست آمده از بتونهای افقی را در اجرای عمودی آزمایش کنند. در این راه به طرح نوعی اسکلت‌بندی بتونی رسیدند که با بتون‌ریزی عملی می‌شد. این طرح پیش از جنگ جهانی دوم در کپنهاگ و بعد در لندن بوسیلهٔ گروههای **Rosebery Avenue** اجرا شد.

خمکاری مطابق شکلهای از پیش‌آماده شدهٔ سقف، برای ساختمانهای یک طبقه، بویژه صنعتی بسیار مناسب بود. حدود خمکاری بتون با ساخت یک طاق گهواره‌ای (استوانه‌ای) به‌دست آمد که بمنظور کم کردن فشارها و نیز صرفه‌جویی در مصالح، انحناهای آن را محاسبه کرده بودند.

نخستین پوشش طرح شده مطابق یک منحنی ریاضی، بدون تردید پوشش راهرو ایستگاه قطار باری برسی[2] (پاریس) بود که در ۱۹۱۰ با شکل شلجمی اجرا شد. درگذشته از دو آشیانهٔ

1. R. Maillart 2. bercy

بالونهای هدایت شونده در اورلی سخن گفتیم که آقای اوژن فرسینه در سالهای ۱۹۲۱ـ۱۹۲۴ آنها را ساخته بود. این آشیانه‌ها همین نقشه را داشتند و مدتها، نمونه‌ای از زیبایی در شکل به‌شمار می‌آمدند. همین اصول را آقای نروی برای سالن بازار مکاره تورینو مورد استفاده قرار داد.

تئوری کلی ساختمان پوسته‌ای با انحناهای ساده در سال ۱۹۲۷ فرمولبندی شد. پوسته‌های کاملاً بسته بعدها ساخته شد. آقای ادوارد توروژا[1] به خاطر طرح سال ۱۹۳۴ وی از یک پوستهٔ کره‌ای برای بازارالخثیراس[2] اسپانیا در ردیف نوآوران به‌شمار می‌آید. بعدها، در ۱۹۶۰ آقایان انریک دو لامورا[3] و فلیکس کندلا[4] در مکزیک، در شهر مونتری[5] با یک پوستهٔ شلجمی شکل هذلولی متشکل از دو دیوار نازک بتونی که یک سطح لوزی شکل را در بر می‌گرفتند کلیسایی ساختند.

در طی سالهای ۵۰، ساختمانهای پوسته‌ای دارای دو ویژگی ساخته شدند؛ هم متکی به خود و بی‌نیاز از قطعات حمال هستند و هم با جهت دادن به فشارها، تقویت شده‌اند. مسألهٔ شکل کلی آنها می‌بایست همزمان با مسألهٔ نسبت سطح به حجم بررسی می‌شد. مسائل مربوط به حصاربندی و روشنایی آنها بدلیل بزرگی همهٔ ابعاد چنین ساختمانهایی راه‌حلهای تازه‌ای می‌طلبید. مرکز ملی صنایع و تکنیکها در پاریس، ساختمان بسیار جالب توجهی بود که برنامهٔ کلی آن در سالهای ۱۹۵۱ـ۱۹۵۳ بررسی و در ۱۹۵۸ ساختمان آن تمام شد (شکل ۶۳).

برای ساختن این پوسته راههای گوناگونی پیشنهاد شد: دیواره نازک بتونی فلزی، فلز و بتون و بالاخره بتونی، که با آن ساخته شد. ساخت آن با بتون مسلح، به‌شکل مثلث از یک طاق دو ضربی (طاق و تویزه) با سه رواق، که با یک جفت پوسته تشکیل می‌شد و بر سه نقطه اتکا داشت، به‌اجرا درآمد. هرکدام از سه بخش پوسته، موجهای همگرا در نقاط اتکا را نشان می‌دهند.

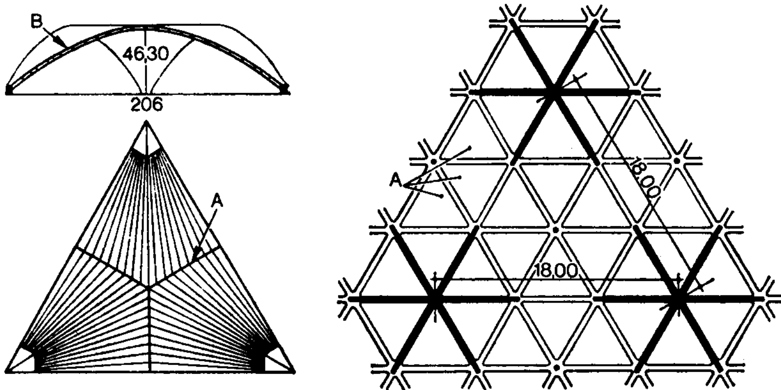
قسمتهای عمودی، اتصال بین دو سطح پوسته هستند و یک ساختمان چهارضلعی به‌وجود آورده‌اند که تعادل این سیستم را تقویت می‌کند. قوسها به ستونهایی از بتون پیش تنیده، تکیه دارند. سه نمای آن از فولاد زنگ‌ناپذیر هستند که با شیشه‌های آبداده آئینه‌کاری شده‌اند (شکل ۶۴).

گرایش به صنعتی شدن: بتدریج که کاربرد مصالح خام جای خود را به قطعات پیش‌ساخته واگذاردند، تحولی که از چندین دهه پیش از این آغاز شده بود در گذر سی سال اخیر، تکنیکهای سنتی ساختمان را در برابر تکنیکهای صنعتی کم‌رنگ کرده است. این تحول طبعاً تغییری در روشهای طرح و ساخت تحمیل کرده است که نه‌تنها مربوط به مسائل مصالح ساخت، حمل‌ونقل و کارگذاری

1. E. Toroja

۲. یا الجزیرةالخضرا، شهری در جنوب اسپانیا، در اندلس

3. Enrique de La Mora 4. F. Candela 5. Monterrey



شکل ۶۳.مرکز ملی صنایع و تکنیکها، در فرانسه (۱۹۵۷ـ۱۹۵۸) توسط آقایان **Zehrfuss, Mailly, Camelot** معمار و آقای **N. Esquillan** مهندس.

در چپ: نقشه معماری و مقطع عمودی سقف. A. مثلثی (سنتوری) سر در؛ B. مثلثی پیش‌ساخته؛ در راست: نقشهٔ کف‌بندی مثلثی؛ A: بلوکهای بتونی پیش‌ساخته. خطوط سیاه، جهتهای کابلهای پیش تنیده را نشان می‌دهند.

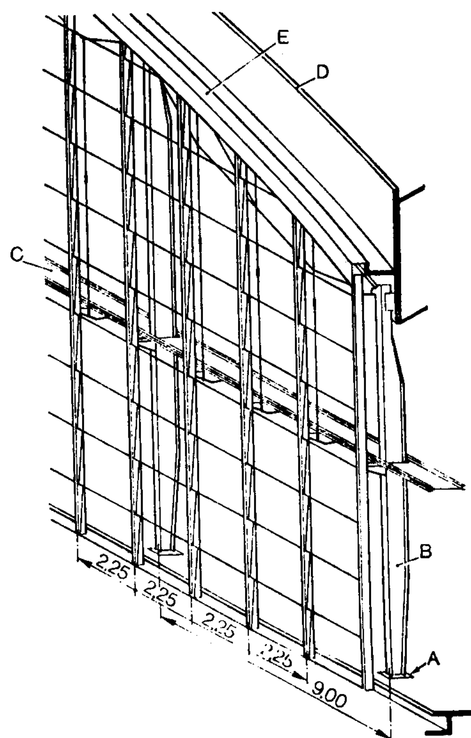
قطعات پیش‌ساخته می‌شود، بلکه طرز اداره بررسیهای مقدماتی و محاسبات اجرایی، تهیهٔ برنامهٔ عملیات: تأسیس یک هنجاربندی در ساخت و مونتاژ فراورده‌ها را هم در بر می‌گیرد.

روش پیش‌سازی پیش از اینکه این اصطلاح معنی کلی خود را در دهه‌های اخیر به‌دست آورد وجود داشته است. دکه‌های کوچک کارگاههای چوبی در سدهٔ پیش وجود داشتند و طی جنگ جهانی اول، تولید اطاقکهای پیش‌ساخته که بتوان آنها را در هر منطقه گذاشت تا اشخاصی در آن سکنی یا مصالحی را در آن انبار کنند، نخستین بار در همهٔ این کشورها به‌مقیاس صنعتی رسید. در فرانسه آقایان ویلگرن[1] و آدریان از مهمترین سازندگان این دکه‌ها بودند که پس از جنگ هم مدتها مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

اما در ایامی نزدیکتر به ما، پیش‌سازی محلهای کوچک، دکه‌های کارگاهها، گاراژهای اتومبیلهای شخصی که با فلز ساخته شده‌اند، جای پیش‌ساخته‌های چوبی را گرفته‌اند.

درحقیقت، روش پیش‌سازی از زمانی پدید آمد که صنعت انواعی از فراورده‌های بهنجار،

1. Vilgrain



شکل ۶۴.مرکز ملی صنایع و تکنیکها، روکش نماهای اصلی: A. صفحهٔ تکیه‌گاه؛ B. اسکلت فلزی عمودی؛ C. پل عابر؛ D. کناره از بتون مسلح؛ E. نوار دورهٔ ساختمان از فولاد زنگ‌ناپذیر؛ نمای ساختمان از شیشه‌های ایمنی است.

تیرچه‌ها و ورقهای آهن را به بازار فرستاد و سازندگان توانستند آنها را به اشکال گوناگون به‌کار گیرند. بعدها، سازندگان برای کارهای بزرگ از صنعت قطعاتی را تقاضا کردند که مشخصات، ابعاد، شکل، وزن و استحکام آنها برای استفاده در کارهای معینی، مشخص شده بود. بیشتر اسکلتهای فلزی که درگذشته از آنها سخن گفتیم از قطعات پیش‌ساخته ترکیب شده بودند.

از پیش‌سازی برای ساختمانهای مدارس که نیاز به آنها، پس از جنگ جهانی دوم پیوسته روبه

افزایش است، در مقیاس وسیعی استفاده می‌شود. این جنبش در سال ۱۹۴۵ در انگلستان با سیستم CLASP که با کاربرد قیمها که ساندویچ‌وار بین تیغه‌های داخلی گذاشته می‌شوند آغاز شد.

از نتایج دیگر روش پیش‌سازی این بود که با گنجیده شدن در نهضت صنعتی شدن پیشرفته، انگیزهٔ تحولی در نماسازی شد؛ زیرا دیوارهای آویزان و لایه‌های مسطح و پوششهای روی کابلها با این روش تولید شدند.

دربارهٔ نماهای سبکی که جانشین نماهای حمال سنتی شده‌اند سخنی نمی‌گوییم. دیده شد که چگونه گوناگونی مصالح و روش کاربرد روزافزون آنها منجر به کثرت نوع ساختمان، نما و شکل پیوسته در تغییر آنها شده است.

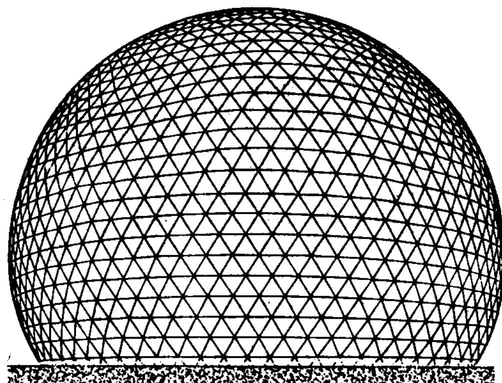
سفره‌های چند جهتی: این سفره‌ها، ساختارهای شبکه‌مانندی هستند که اساساً از قطعات پیش‌ساخته و به‌طور صنعتی مونتاژ شده بوسیلهٔ «گره‌ها»ی جوشکاری شده یا با قطعاتی که از پیش متصل شده‌اند تشکیل یافته‌اند. این تکنیک، نسبتاً اخیر، و نتیجهٔ تحقیقاتی است که آقای روبر لو ریکوله[1] در سال ۱۹۳۶ آن را شروع کرده بود. این تکنیک موجب ثبت اختراعات چندی درباره گره‌های پیش‌ساخته شد. پیشرفت آن زمانی انجام گرفت که ماشینهای حساب امکان حل سریع مسائل مطروحه در اثر واکنش میله‌ها را با گره‌ها در محل اتصال فراهم کردند. باید توجه داشت که این «میله»ها می‌توانند از جنسهای مختلف و به اشکال گوناگون پروفیل یا لوله‌ای باشند، اما برای بر پا کردن یک خانه کوشش شده است تا از یک جنس استفاده شود.

آقای کنراد واکسمان تحقیقات خود را روی این نوع ساختمان در ۱۹۴۴ آغاز کرد و نخستین اجرای آن در ۱۹۴۶ بود. فرمولبندی تعاریف و محاسبات این کار را آقای ماکووسکی[2] در سال ۱۹۵۹ انجام داد.

با این‌حال، آقای ریچارد باکمینستر فولر[3] با استفاده از یک سیستم تصویر ژئودزیکی، ساختمانی کرد که تکنیک آن از بدنهٔ هواپیما الهام گرفته شده بود. گنبدهای «ژئودزیکی» آن بر مبنایی ساخته شدند که هنوز تغییر نیافته است: یک سطح مستوی مدور روی زمین. این گنبد از قطعات کوتاهی تشکیل شده است که به‌طور مستقیم روی هم سوار، یا از پیش به‌شکل هشت گوش متحد شده‌اند. از نمونه‌های بسیار آن، می‌توان از غرفهٔ امریکا در نمایشگاه مونرال ۱۹۶۷ نام برد (شکل ۶۵).

مدتهای طولانی چنین می‌نمود که سفره‌های چند جهتی تنها کاربردی که می‌توانند داشته باشند در ساختمانهای یک طبقه، سالنهای نمایشگاه، بازارها و کلیساهاست. طرح بناهای بلند

1. R. Le Ricolais 2. Makowski 3. R. Buckminster Fuller



شکل ۶۵. غرفهٔ امریکا در نمایشگاه مونرال ۱۹۶۷، ساخت آقایان باکمینستر فولر و سادائو (Buckminster Fuller-Sadao) گنبد از قطعات فلزی سه جهتی (dimaxion)، به ارتفاع ۵۰ متر.

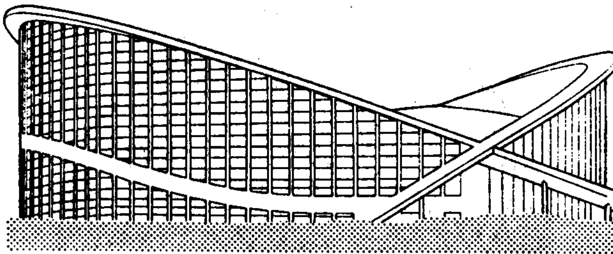
گوناگونی تهیه، و در محلهایی نزدیک به‌مراکز سیدرورژی اجرا شد.

با آغاز سال ۱۹۲۶ گروههای متشکل از معماران، مهندسان، مقاطعه‌کاران و نمایندگان مؤسسات متالورژی (آلومینیم و آلیاژهای آن)، این تحقیقات را برای اجرا در ساخت خانه‌های شخصی، از نو دنبال کردند. در ۱۹۶۸ با پیروی از این تکنیک یک برنامهٔ ۵۰۰ واحدی نزدیک روان و ۲۵ ساختمان چهار طبقه مسکونی اجرا شد.

بامهای آویخته با کابل: در ۱۹۳۲ طرحی که شامل بام آویخته‌ای بود برای کاخ شوراها (در مسکو) به مسابقه گذارده شد و نخستین تجربهٔ این تکنیک در ۱۹۳۵ برای غرفهٔ فرانسه در بازار مکاره زاگرب انجام گرفت. اما یکی از نخستین و مهمترین اجراهای این تکنیک، سالن نمایشگاه ایالت کارولینای شمالی در رالی[1] مرکز آن، در ۱۹۵۳ـ۱۹۵۴ بود که از دو طاق سهمی شکل مایل تشکیل شده بود که دو سفره از کابلهای ضربدری آنها را نگاه می‌داشت و به‌توسط پشت‌بندهای عمودی، بر یک زیربنای بتونی تکیه داشتند (شکل ۶۶).

این سیستم ساختمانی در بامهای وسیع، مثل ورزشگاه آینه در استکهلم (۱۹۵۵ـ۱۹۵۶)، غرفه فرانسه در بروکسل (۱۹۵۸ که از آن سخن گفته‌ایم)، سالن موسیقی سیدنی (۱۹۵۹) و شمار فراوان دیگری از ساختمانها در سالهای پس از آن بسرعت به‌کار گرفته شد. مزایایی که سازندگان در این سیستم یافته بودند علاوه‌بر اجرای این ساختمانهای بدون پشتوان داخلی، پوشش آنها با هرچیز

1. Raleigh



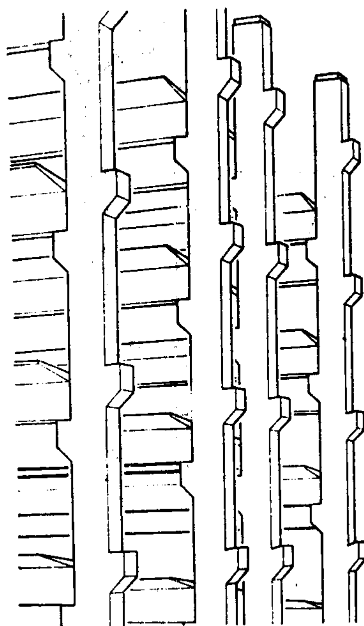
شکل ۶۶.سالن نمایشگاه در رالی در سالهای ۱۹۵۲ـ۱۹۵۳ توسط آقایان: Nowicki (تحقیق و نقشه‌ها)، William H. Deitrick و Fred Severud دو طاق سهموی مایل از بتون مسلح، ساختمانی را که از کابلها آویزان است، در پناه گرفته است.

بسیار سبکی امکان داشت که مناسب منظوری که برای آن ساخته می‌شدند و نیز تزیینات مورد نظر، باشد. بعدها، گرایشهایی برای استفاده از سفره‌های کابلها در وضعیتهای تکنیکی نمایان شد که لزوم خاصی نداشتند. سرانجام باید گفت از کابلها دیگر برای نگاهداری بامها استفاده نمی‌شد بلکه به‌جای دکلهای محیطی، بمنظور نگاهداری تخته‌هایی که از هستهٔ بتونی یک ساختمان مرتفع بیرون زده‌اند به‌کار برده می‌شدند. این تکنیک بویژه در سال ۱۹۷۰ برای ساخت یک مجتمع ساختمانی در ونکوور[1] به‌کار گرفته شد. شانزده کابل جفتی تخته‌ها را بیرون از ساختمان نگاه می‌داشتند و در نوک هسته ثابت شده بودند. پشت بام نیز به‌توسط هشت کابل جفتی نگاهداری می‌شد.

پیش‌سازی با بتون: درگذشته از پیشگامی شارل هانری بنار در مورد نظراتش دربارهٔ پیش‌سازی و صنعتی کردن آن درکار ساختمان سخن رفت. وی مجالی برای پیاده کردن نظراتش در کلیسای محله ژاول در پاریس به‌دست آورد. قطعاتی از سیمان مسلح در خود کارگاه به‌طور سری در قالبهای نشکستنی دارای ابعاد دقیق ساخته شد. این قالبها، در موارد لازم، شامل تزیینهایی هم برای قطعهٔ مورد نظر بودند که با سنبهٔ ماتریس‌کاری ایجاد می‌شدند. مجراها در قطعات پیش از بتون‌ریزی گذاشته شده بودند. دکلها، طاقهای بادبند، پنجره‌ها، قطعات بام با سیمان مسلح و با همان روش ساخته شدند.

بعدها کار پیش‌سازی با بتون مسلح، انگیزهٔ ساخت قطعات گوناگون ساختمانی برای انجام وظایف معینی شد (شکل ۶۷). قطعات حمال، ادامه ساختمان سنتی بودند. قطعات داخلی از جمله چشم پلکان یا بلوکهای مجراها در جاهای مورد نظر گذاشته می‌شدند و دیوارها برای اینکه

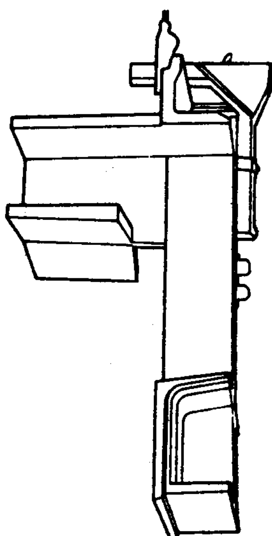
1. Vancouver



شکل ۶۷.دکلهایی برای ساختمان پارکینگ اتومبیلها، در اوترشت (۱۹۶۸ـ۱۹۷۰).
دکلهای بسیار بلندی که از بتون پیش‌ساخته‌اند. پیشامدگیها، امکان می‌دهند که قسمت حمال بسرعت پیش برود.

ارتفاع یک طبقه را به‌پوشانند ابعاد بسیار بزرگی دارند و گاهی آنها را با چوب پوشانده‌اند، درحالی‌که شکافهای پنجره‌ها یا درها را در عرض منظور داشته‌اند. این عرض با نظر معمار به‌مقیاس معینی، برطبق داده‌های فنی ساختمان وابسته بود. قطعات دیوار که به کمک انواع وسایل بالابری روی یکدیگر گذاشته می‌شدند در حالت عمودی، یا به‌توسط سیمان‌ریزی در سوراخهای پیش‌بینی شده یا با بندکشی با یکدیگر محکم می‌شدند. تعادل آنها با بستن سوراخهای آنها روی کفهای بتونی تأمین می‌شد. خود این کفها از قطعات بزرگ پیش‌ساخته تشکیل شده بودند.

سیستمهای گوناگونی در همهٔ کشورها برای اجرای این روشها مطرح شدند که نام بردن از همهٔ آنها در اینجا ممکن نیست. فراوانی آنها، که غالباً با به‌ثبت رسانیدن، آنها را مهم جلوه می‌دادند،



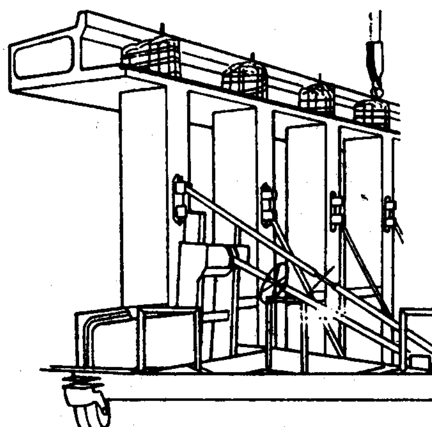
شکل ۶۸. قطعهٔ نما، از استانداری استان اوت دوسن (فرانسه). بتون پیش‌ساخته، شامل دیوار زیر پنجره و سایبان

نشانی از صنعتی شدن بسیار پیشرفته در این رشته است. آنها را برای اجرای ساختمانهای چندین منظوره به‌کار می‌گرفتند، که نشانهٔ انعطاف‌پذیری آنها در کار است (شکل ۶۸). با این‌حال، قیود و الزاماتی در کار بود.

در اکثر این موارد، مشکل حمل‌ونقل از کارخانه‌ها به کارگاه، به‌علت وزن زیاد و بزرگی، قطعات که باید حتی‌الامکان کنترل شوند، وجود دارد. وانگهی کار گذاشتن آنها نیاز به وسایل خاصی در کارگاه دارد (شکل ۶۹). بدین‌ترتیب، تنها در ارتباط با گسترش همزمان تکنیکهای گوناگون، از جمله تکنیک تهیهٔ بتون (سبک) است که سیستمهای ساخت قطعات پیش ساخته توانستند در دهه‌های اخیر تعمیم یابند.

همین گرفتاریها با شدت بیشتر و با تأکید زیادتر در کاربرد قطعات غیر حمال و سلولها وجود دارد.

عناصر نمای بتونی که از این پس نقش حمال را ندارند، پس از جنگ جهانی دوم، به‌طور



شکل ۶۹. از استانداری استان اوت دوسن (فرانسه).
ساختهٔ Wogenscky
نصب یک قطعه از نمای شمالی
شمعک‌زنی موقتی

روزافزونی به‌کار گرفته شده‌اند. همراه با امکانات فنی که در این مدت پیوسته افزایش یافته‌اند عوامل متعدد اجتماعی ـ حرفه‌ای به سود این کار عمل کرده‌اند. کارگران ورزیده در سنگتراشی بسیار کم شده‌اند و مزد کارگران برای کاری که در کارگاه انجام می‌دهند پیوسته افزایش می‌یابد. ساخت این قطعات در کارخانهٔ ثابت یا جاده‌ای، بدلیل شرایط کمتر مشقت بار کار، کارگران را به‌سوی خود می‌کشید.

اما، علاوه‌براین، خود سازنده نیز شرایط کار را بهتر می‌دید. از یکسوی، خطرات شرایط اقلیمی قویاً کاهش می‌یافت، و ازسوی دیگر کنترل شدیدتری بر ساخت قطعات امکان داشت. حدود خطای مجاز را توانستند کاهش دهند و مجراها و کانالها را در مرحله پیش‌سازی قطعات درنظر بگیرند و کار بسیار پرهزینهٔ ثانوی در کارگاه را تا حدود زیادی پایین آورند.

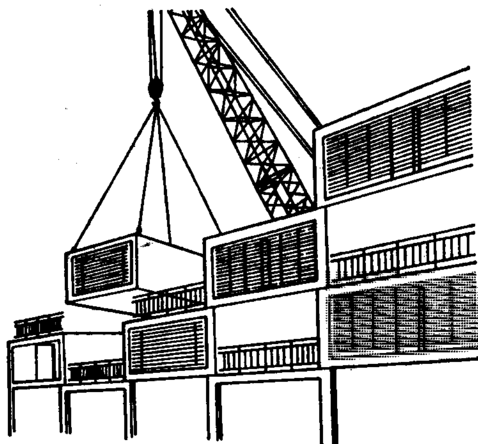
اینکه قطعات بتونی پیش‌ساخته، در آن نواحی که کارگر فراوان و نسبتاً ارزان دارند و نیز شرایط اقلیمی خوب است پیشرفت زیادی نداشته است به اندازهٔ کافی نشانهٔ اهمیت این عوامل گوناگون است.

سلولهای پیش‌ساخته: گرایشی که در دههٔ ۵۰ قوت گرفت، در یکپارچه شدن بیش‌از پیش همهٔ عناصر ساختمان، متبلور می‌شود. این گرایش به طرح سلولهای کاملاً یکپارچه انجامید، سلولهایی که هرکدام‌یک عنصر ساختی را تشکیل می‌دهند. در کارگاه، کارها را توانستند به آماده‌سازی پیها، جاگذاری و مونتاژ سلولها و سرانجام مرتب کردن آنها کاهش دهند. پیش‌سازی پانلهای سنگین، امکان اجرای حدود ۵۵٪ کارها را در کارخانه ایجاد کرد. به‌کارگیری سلولها این مقدار را به ۸۵٪ افزایش داد. به همین دلیل بود که درگذر آخرین دهه، در همه کشورهای پیشرفتهٔ صنعتی دیده شد که ساخت سلولی به روشهای گوناگون رایج است.

با آغاز سدهٔ بیستم، برای مونتاژ خانه‌ها با بلوکهای بزرگ پیش‌ساخته، اختراعاتی به‌ثبت رسید. در فرانسه در ۱۹۲۰، آقای گابریل ووازن سازندهٔ هواپیما، با این بلوکها خانه‌ای ساخت. در امریکا دست به‌کار ساخت «تریلر»هایی برای یدک‌کشی قطعات بزرگی شدند که برای ایجاد ساختمانهای موقت آماده شده بودند. نخستین مجموعهٔ ساختمان سلولی، پیش از آغاز جنگ جهانی دوم برطبق این روش برای Tennessee Valley Authority به‌اتمام رسید. برای اداره این کارگاه می‌بایست کارگران زیادی را، که غالباً از کارگاههای دیگری آمده بودند، جا داد. خانه‌هایی با دو یا چهار قطعه قابل حمل با کامیون برای کارگران ساخته شد.

در اتحادجماهیرشوروی [سابق]، پس از جنگ جهانی دوم، ناگزیر به تأمین ادامهٔ کارگاهها، در زمستان بسیار سرد بودند. در چنین شرایطی بود که آقایان پلخوف و آبراموف معمار و رزنیچنکو مهندس، نخستین سیستمهای سلولی بتونی با ابعاد بزرگ را طرح کردند. «پیش‌نمونه کیف» ابعادی برابر ۳٫۲۰ × ۴٫۸۰ و ارتفاع ۲٫۷۰ متر داشت. وزن هر کدام ۸ تا ۱۰ تن بود. بعدها بررسیهای پیگیری در شوروی [سابق] روی مشکلات این سلولها در آزمایشگاهها و انستیتوهای مجهز با وسایل مهم انجام گرفت. کارخانه‌های ساخت این قطعات، در حومهٔ مسکو و چند شهر بزرگ دیگر برپا شدند. با روشهای اصلاح شدهٔ آنها رفته رفته در سبکهای معماری تنوع زیادی به‌وجود آمد. کارهای انجام گرفته با این روشها، در شوروی بیش از دیگر کشورهاست.

همین‌طور در ممالک متحدهٔ امریکا بررسیهایی انجام گرفت و در ۱۹۶۷ حدود پانزده سیستم سلولی شماره شدند که برابر مجموع تعداد روشها در بقیه کشورها بود (شکل ۷۰). راههای بررسی امریکاییها متفاوت از شوروی بود. چوب در امریکا به‌طور سنتی در ساختمانهای دو طبقه به‌کار گرفته می‌شود. بتون و فلز در ساختمانهای بلندترکاربرد دارند. دربارهٔ کاربرد غلافهای ساخته‌شده از پلی‌استر مسلح با الیاف شیشه هستهٔ عایق، درکفی از پلی‌اورتان هم تحقیقاتی شده است. از میان



شکل ۷۰.نصب خانه‌های سلولی سیستم Shelley
ممالک متحدهٔ امریکا (۱۹۶۰).
سلولهای پیش‌ساخته از بتون مسلح، که به‌شکل شطرنجی سیاه و سفید نصب شده‌اند.

طرحهای اجرا شده، طرح مجتمع Habitat آقای موشه سفدی[1] معمار، که در ۱۹۶۷ در نمایشگاه مونرال نشان داده شد برای نخستین بار، سبکی از معماری بود که از روش سلولهای بزرگ الهام گرفته بود. اما این اجرا، یک قدرت نمایی بدون پشت‌بند بود، زیرا ابعاد آن، سلولهای قطعات و وزن آنها که مستلزم ساخت در محل بود، مانع ادامهٔ آن گشت.

در اروپا بررسیهای انفرادی درکشورهای گوناگون انجام گرفت. اختراع چند سیستم که به‌طورکلی مبتنی‌بر بتون پیش‌ساخته بودند به‌ثبت رسیدند.

تکنیک خانه‌سازی سلولی در دههٔ ۷۰ باز به پیشرفتهای واقعی دست یافت. نوع مصالح اولیه، مسأله مهمی بود. گزینش بتون برپایهٔ سازشی بین بها وکارایی بود. تکنیکهای تولید بتون مسلح، با وجود پیشرفتهای مهمی که در دهه‌های اخیر پدید آمد. باز هم بسیار ابتدایی بود؛ وانگهی، بتون نیاز بسطوح مهمی جهت انبارداری در مدت رسیده شدن دارد. فلز با تکنولوژی بسیار پیشرفته‌اش، هنوز برای خانه‌سازی بسیار گران بود. پلاستیکها گران بودند و می‌بایست تقویت هم بشوند، دشواریهای پیرشدگی و پایداری آنها دربرابر آتش، مسائل بزرگی هستند.

1. Moshe Safdie

از مسائل دیگر، مشکلات مربوط به‌حمل‌ونقل و جاگذاری قطعات بودند که در مورد قطعات پیش ساخته شده یادآور شدیم که هنوز هم مانع پیشرفت سریع آن بودند. تنها زمانی‌که سرمایه‌گذاریها تغییر جهت داده و از نو به کارخانه‌های ثابت با سرمایه‌گذاریهای زیاد روی آوردند دشواریهای مربوط به صنعتی کردن سریع این سیستمهای ساختمانی برطرف شدند.

اجرا کنندگان: جنبهٔ واقعاً معماری طی این بررسی تحول تکنیکهای ساختمان در نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم مورد بحث قرار نگرفته است. حداقل می‌توان گفت که این جنبه در ارتباط با اجرای همهٔ ساختمانهاست و یک عامل اساسی آن را تشکیل می‌دهد؛ گرچه معاصران ما غالباً تحت تأثیر یکسانی موجود در بسیاری از این اجراها قرار می‌گیرند. آنها، در ضمن، باید نقشی را که اشکال، حجمها، مصالح سنتی یا کار شده، برای رسیدن به یک بیان زیبایی‌شناسی اصیل اجرا می‌کنند، ارج گذارند.

رضایت‌بخشترین آثار از این دید را گروههایی طرح و اجرا کرده‌اند که سازندگان، معماران طراح، مهندسان محاسب راه‌حلهای معین در عین حال دارای درک معماری و یک برنامه اصلی اثر، مقاطعه‌کنندگانی که کار اجرا می‌کنند، و فراتر از این گروه، صنعتگرانی که قطعات تقاضاشده را پیش‌سازی می‌کنند در یکجا گرد آورده‌اند. استفاده‌کننده، در این جمع نیست. ساختمان به یک کار گروهی تبدیل شده است که باید بتواند به نیازهای فرمولبندی شده پاسخ دهد.

آزادی فکر معمار سنتی دوره‌های پیشین برای صنعتی کردن، به گروهی از عوامل تکنیکی واگذار شده است که بدون اینکه آن را محدود کند وسایلی برای بیان رساتری از آن، در نیم سدهٔ آینده فراهم کرده است. بدین‌ترتیب شاید بهتر باشد که شخصیت اجراکننده، در رشتهٔ فعالیت تولیدی خود ناچار باشد با تکنیکهای موجود متحول شود و همراه با پیشرفت این تحول است که معماران بزرگ این دوران مطرح شده‌اند؛ این شخصیت همچنین وابسته به استعداد وی در فراهم آوردن گروههای بسیار گوناگون است.

کتابشناسی بخش دوم

فصل ۱

BOUASSE (H.), *Pendule, spiral, diapason*, Paris, 1920.
CHALEAT (R.) et MESNAGE (P.), Mesure du temps, in *Techniques de l'ingénieur*, 1971.
FAVARGER (A.), *L'électricité et ses applications à la chronométrie*, Neuchâtel, 1924 (Éditions d
Journal suisse d'Horlogerie et de Bijouterie).
GUYE (R. P.) et BOSSART (M.), *Horlogerie électrique*, Lausanne, 1948.
GUYOT (E.), *Histoire de la détermination de l'heure*, La Chaux-de-Fonds, 1968.
HIRSCHI (E.), *Organisations professionnelles de l'industrie horlogère en France et en Suisse*, Pari
1948.
HOPE-JONES (F.), *Electrical Timekeeping*, Londres, 1949.
MARRISSON, Crystal Clocks, in *Bell System Technical Journal*, 1948.

فصل ۲

American Machinist.
ANDROUIN (M. J.), *Le travail des métaux aux machines-outils*, 1953.
ARMENGAUD (Aîné), *Le portefeuille des machines*, 1850-1861.
BERNARD (M.), *Automatisation*, 1958.
BEZIER (P.), *Étude et utilisation des machines-transfert*, 1954.
BLANPAIN (E.), *Théorie et pratique des outils de coupe*, 1955.
BRUMA (M.) et RONCIN (J.), *L'usinage par électro-érosion*, 1958.
BUXBAUM (R.), *Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie*, 1919, 1921.
CHALVET (M.), *Évolution de la machine-outil*, 1951.
CODRON (C.), *Travail des métaux*, 1905.
FORT (L.), *Note sur l'emploi de la machine à fraiser*, 1901.
FULLAM (E. J.), *50 years of progress (Fellows)*, 1946.
GARANGER (André A.), *Petite histoire d'une grande industrie*, Paris, 1960.
GLEASON (E. B.), *The Gleason Works : 1865-1950*, 1950.
GORDON (M. J.), *Étude du brochage*, 1953.
HASSLER (Fr.), *Industrie-Anzeiger*, 1954.
HÜLLE (Fr. W.), *Machines-outils. Leur construction et leur calcul*, 1926.
JOLY (R.), PASQUET (R.) et VACQUER (R.), *Étude des machines-outils*, 1955.
LENOUVEL (L.), *Les tendances actuelles des machines-outils*, 1947.
LOEWE (L.) & Co., *1869-1929. 75 Jahre Collet & Engelhard*, 1930.
RICHARD (G.), *La machine-outil moderne*, 1900.
ROË (J. W.), *English and american tool builders*, 1926.
SIP, *Au cours de quatre-vingts années : 1862-1942*, 1942.
Société des Ingénieurs civils de France, *Mémoires*, 1884.

فصل ۳

AUDIN (M.), *Histoire de l'imprimerie*, Paris, 1972.
BONNEVILLE (L.), *Le moteur roi. Origines de l'automobile*, Bourges, 1949.
DEERING, HARVESTER COMPANY, Chicago, *Exposition rétrospective officielle. Développement des instruments de récolte pour l'Exposition de Paris en 1900.*
Génie civil, à partir de 1880.
GOUVENIN (T. de), *Évolution des moyens d'essais aérodynamiques*, Mémoire d'élève, 1973.
JOSEPHY (A.), *L'aviation et son histoire*, Bruxelles, 1927.
LASTEYRIE (de), *Collection de machines et instruments employés dans l'économie rurale*, 1820.
MANGON, *Traité de génie rural*, 1875.
MANIGLIER (G.), *Les matériels de génie civil*, Mémoire d'élève, 1973.
PANNEQUIN (C.), *Évolution des engins de travaux publics*, Mémoire d'élève, 1973.
RINGLEMANN, *Les machines agricoles*, 1896.
ROUSSEAU (J.), *Histoire mondiale de l'automobile*, Paris, 1958.
TRESCA, *Le matériel agricole moderne*, 1893.

فصل ۴

ACHE (J.-B.), *Acier et architecture*, Paris, 1966.
— *Éléments d'une histoire de l'art de bâtir*, Paris, 1970.
ADAM (M.), *Aspects du béton*, Paris, 1971.
ARMYTAGE (W. H. G.), *A Social History of Engineering*, Londres, 1961.
Centre international de Développement de l'Aluminium, *Structures en aluminium*, Düsseldorf, 1972.
CIMUR, *Techniques françaises des façades légères*, Paris, 1965.
COLLINS (P.), *Concrete, the Vision of a new Architecture*, Londres, 1959.
COURBON (J.), *Calcul des structures*, Paris, 1972.
DREUX (G.), *Guide pratique du béton*, Paris, 1970.
— *Pratique du béton précontraint*, Paris, 1973.
ENGEL (H.), *Structure systems*, Londres, 1968.
FREYSSINET (E.), *Grandes constructions*, Paris, 1930.
JOEDICKE (J.), *Geschichte der Modernen Architektur*, 1958.
— *Schalenbaw Konstruktion und Gestaltung*, Hilversum, 1962.
LUGEZ (J.), *La préfabrication lourde en panneaux et le bâtiment d'habitation*, Paris, 1973.
MADELIN (Ph.), *Industrialisation dans le bâtiment*, Paris, 1969.
MAKOWSKI (Z. S.), *Raümliche Tragwerke and Stahl*, Düsseldorf, 1963.
NERVI (P. L.), *Costruire correttamente, carrateristiche e possibilita delle struture cermentizie armate*, Milan, 1965.
OTTO (F.), *Das Hägende Dach, Gestalt und Struktur*, Berlin, 1954.
— *Tensile structures*, Cambridge, États-Unis, et Londres, 1969.
SIEGEL (C.), *Les formes structurales de l'architecture moderne*, Paris, 1965. Trad. R. SARGER.
SIMON (E. H. L.), *L'industrialisation de la construction*, Paris, 1962.
TORROJA (E.), *Razón y ser de los tipos estructurales*, Madrid, s.d., éd. franç., Paris, 1969.
VENUAT (M.), *Ciments et bétons*, Paris, 1969.
WACHSMANN (K.), *Wendepunkt in Bauen*, Düsseldorf, 1959.
WANG (P. G.), *Calcul des structures par les méthodes numériques et matricielles*, Paris, 1969.

بخش سوم

دریافت، انتقال و آمایش خبر

کسانی‌که از فرضیهٔ یک انقلاب تکنیکی در سدهٔ بیستم، به‌طور دربست دفاع می‌کنند، در استدلالهای خود روی افزایش سرعت و انعطاف‌پذیری وسایل بیش‌از پیش تکامل‌یافتهٔ دریافت خبر، آمایش و پخش آن انگشت می‌گذارند. اما این اصطلاحات را باید در وسیعترین معنی آنها درنظر گرفت. خبررسانی در آغاز همچون رابطهٔ واقعیات کلی مورد علاقهٔ زندگی جمعی یا فردی اشخاص فهمیده نمی‌شد، بلکه بسان تظاهر کلی نشانه‌های قضیه‌ای بود شامل مفاهیم مشخص یا مجرد و در حال حرکت یا سکون که می‌توانست بر مجموعهٔ دیگری از خبرها اثر گذارد ـ مجموعه‌ای که بر اثر یک تغییر حالت با توالی (سکانس)های محدود یا نامحدود مشخص می‌شد.

آمایش اطلاعات، به‌مرتب کردن اطلاعات درجه‌بندی شده یا ناشده از واقعیات گرفته شده، ترتیب نهایی یا موقتی و تبدیل آنها به نشانه‌هایی برای مخابره به‌سوی هدف کلی مورد نظری است که نظم تحول را می‌پذیرد یا براساس نشانه‌های دریافتی شکل می‌گیرد.

معلوم است که آشنایی سطحی با این پدیده‌ها، در عمر کوتاه، در این نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم، برای کسان زیادی از معاصران ما این توهم را ایجاد می‌کند که آنها در یک انقلاب واقعی شرکت کرده‌اند ـ ادعایی که مؤلفانی با نوعی بی‌نظری علمی و حتی تکنیکی به آن اعتقاد دارند. اشکال کار در این است که برای این انقلاب، و نیز برای انقلابهای دلخواه آنها، در سده‌های نوزدهم و هجدهم و غیره مشخص کردن حدود زمانی و شرح محتوا، تقریباً ممکن نیست.

واژهٔ معجزه، که بسیاری از اوقات به‌کار می‌رود برای اصطلاح اخیراً ساخته‌شدهٔ انفورماتیک برازنده است. اصطلاح انفورماتیک معمولاً ناظر به مفهوم مشخص آمایش و احیاناً انتقال، از داده‌ها به‌گرفته‌ها در یک کامپیوتر است، اطلاع‌رسانی با وسایل تکنیکی الکترونیکی است. این واژه، در این معنی، گزینشی در ماهیت اطلاعی که دریافت می‌کند انجام می‌دهد. این، یک اطلاع‌رسانی بسیار گزینشی و بسیار تنقیح شده است که معمولاً به زبان ویژه‌ای ترجمه شده است.

می‌توان از خود پرسید که آیا این اصطلاح انفورماتیک، طی این چند دهه‌ای که از عمر آن می‌گذرد، بدلیل اینکه وسایل الکترونیکی وارد پهنهٔ بازتری شده‌اند، معنی وسیعتری نیافته است؟ مثلاً، اطلاع‌رسانی روزنامه‌ای، حالا مدتهاست که وابسته به الکترونیک است، حتی زمانی‌که بیش‌از تلفن و تلگراف به‌اصطلاح کلاسیک در دسترس نداشت، آنها وسایل الکترونیکی را، نخست با خسّت زیاد، سپس با دست و دلبازی زیاد به‌کار گرفتند. با کاربرد رادیو، حتی پیش از آنکه کاربرد آن عمومیت یابد، تقریباً به‌طور کامل وابستهٔ الکترونیک شد. سپس، زمانی‌که وسایل خبرگزاری از محدودهٔ قلم و کاغذ سفید فراتر رفتند و به مانیتوفون یا دوربین فیلمبرداری تبدیل شدند، سلطهٔ

الکترونیک در زمینهٔ گرفتن خبر هم گسترش یافت. در همین حال، کار پخش خبر به‌توسط رادیو و تلویزیون باز هم به قسمتهای خروجی دخالت منحصربه‌فرد الکترونیک کشیده شد. سرانجام می‌توان گفت که تا زمان پیدایش روشهای باز هم کلاسیک کتابت خبر در کتابها و مجلات، این‌چنین روزافزون از الکترونیک استفاده نمی‌شد.

می‌توان ایراد گرفت که انفورماتیک به‌معنی دقیق کلمه، شامل کاربرد کامپیوترها می‌شود که تنها می‌توانند آمایش بعضی خبرها را تأمین کنند. اما ما می‌دانیم که کامپیوتر در زمان کنونی، در شبکه‌های ارتباط از دور با، یا بدون سیم جای خود را دارد. آیا انفورماتیک در انجام وظیفه این شبکه‌ها، صرفاً در مرحلهٔ نشر ـ که معمولاً طبق دلخواه است ـ کامپیوتر را دخالت نخواهد داد؟ و، پدیده‌هایی از این دست در بخشهای دیگر شبکه‌های غیر از کامپیوتر وجود دارند، اما چرا اصطلاح انفورماتیک نمی‌تواند مجموعهٔ این کمپلکس را تفهیم کند.

بالاخره، مورخ بدینجا می‌رسد که از خود بپرسد آیا انفورماتیک، تنها با دخالت الکترونیک، پدید آمده است؟ کاربرد دسته‌های جورشده‌ای از کارتهای سوراخدار در دستگاه فرمان الکترومکانیکی هولریث در ۱۸۸۵، آغاز مرحلهٔ مهمی در آمایش خبر بود. در مجلد سوم این مجموعه دیده شد که نوسازی این تکنیک، به این رشتهٔ طویل کوششها برای کاربرد کارتهای سوراخدار یا نشاندار، که در زمینه‌های بسیار گوناگون کاربردهای گذرا یا جزئی یافته بودند، پایان داد.

در این‌گونه تحلیل، از بحث کوتاهی دربارهٔ نوارهای کاغذی که نشانه‌های «زبان ماشین» روی آنها چاپ می‌شوند ـ چیزی که مورس اختراع کرد ـ گریزی نیست؛ و نیز دعوی اینکه این نوع تکیه‌گاه، در شکل نوار سوراخدار، خبر را یا به کامپیوتر می‌خوراند، یا به یک سیستم فرمان الکترونیکی از ماشین ـ ابزارها می‌دهد. در تلگراف مورس، نوار کاغذی چاپی، یک قسمت خروجی از تأسیسات انتقال خبر است، حامل پیامی است که باید به زبان طبیعی ترجمه شود. بنابراین، چگونه نمی‌توان ادعا کرد که زبان ماشین از همان آغاز پیدایش مجموعه‌های اولیهٔ سازمان‌یافته انتقال تلگرافی وجود داشته است.

نخستین اطلاع‌رسانی با وسایل جدید، رسانیدن خبر دستگیری کُنده[1] توسط ارتش انقلاب به کنوانسیون فرانسه بود، عملی که متوالیاً شامل برگردان زبان رایج به یک «زبان ماشین» براساس نشانه‌های تعیین شده بوسیلهٔ کلودشاپ بود: انتقال خبر از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر به زبان ماشین و بالاخره برگردان آن به زبان رایج.

اعم از اینکه نشانه‌ها به‌توسط شکلهای گوناگون بازوهای اهرمی، که از دور با دوربین دیده

۱. Condé لویی ژوزف پرنس دو، ۱۷۳۶ـ۱۸۱۸ که در ۱۷۹۲ ارتش ضد انقلاب کبیر فرانسه را تشکیل داد.م.

می‌شوند ارسال شوند، یا با ضربه‌های الکتریکی جریانهای قوی که با آهنرباهای برقی مطابق کد شاپ یا مورس فرستاده و دریافت می‌گردند، یا بالاخره با جریانهای ضعیف و تغییرات ساختار مغناطیسی در اجسام جامد، تاریخ‌نویس می‌تواند بپذیرد که تحول این اندیشهٔ تکنیکی، خط پیوسته‌ای را راه سپر بوده است و تظاهرات آن در اشکال خلاقی بودند که از نظر نوع وسایل مورد استفاده، متفاوت می‌باشند. بدین‌ترتیب، پاگرفتن انفورماتیک را می‌توان پیش از پیدایش الکترونیک دانست.

شاید باز هم لازم باشد تا معلوم شود که آغاز این دانش، در چه زمانی بوده است، آیا در سال ۱۸۹۵ با تعریف الکترون توسط ج. ج تامسن، یا با تجربهٔ معروف هرتس دربارهٔ وجود امواج الکترومغناطیسی، که تنها هشت سال پس از آن صورت گرفت؟

بالاخره، آیا در اواخر سالهای ۱۹۳۰ که اصطلاح الکترونیک در راه جانشینی اصطلاح رادیوتکنیک در موقعیتهای نامشخص بود؟ آیا منطقی نیست که از اصطلاح الکترونیک، تعریف روشنی داشته باشیم؟

این پرسشها هم برای تاریخ‌نویس و هم برای ارزیاب علوم مطرح هستند و پاسخ به آنها در چارچوب این مجلد نمی‌گنجد. با این‌حال، تحلیل تاریخی آن، بی‌گمان مفهوم گنگ و عامیانهٔ وجود یک انقلاب علمی و تکنیکی در میانهٔ سدهٔ بیستم را به‌زیر سؤال می‌برد، و برعکس، این تحلیل ثابت می‌کند که نوعی تغییر تدریجی و دنباله‌دار در کار بوده است. این تغییر تدریجی را در بخشهای دیگری از دو مجلد پایانی این مجموعه دیده‌ایم، که همهٔ رشته‌های فنی تولید و ارتباطات را تحت تأثیر قرار داده بود. اما خصوصیات اصلی آن، زمانی‌که همهٔ فنون مربوط به خبرگیری، آمایش و انتقال خبر مورد بررسی قرار گیرند، به‌یقین با تردید کمتری پذیرفته می‌شوند.

با بررسی این دوره، که افزون از یک سده است، در اینجا، انسان با دیدن این واقعیت، که وسایل بسیار گوناگونی که پی‌درپی به‌کار گرفته شده‌اند، در حال حاضر بشدت وابسته به‌یکدیگر شده‌اند نمی‌تواند شگفت‌زده نشود. برای آشکارسازی این پدیده‌هاست که در این بخش از کتاب، وسایل فیزیکی و شیمیایی ثبت و پخش صدا و سیما بررسی شده‌اند ـ وسایلی که برق و بعد الکترونیک، هر کدام در زمان خود توانستند ابعاد تازه‌ای بدانها بخشند؛ وسایل برقی و الکترومکانیکی تلگراف و تلفن؛ و سرانجام، این موج را، که آغازهای آن مبهم و غیر مشخص است یعنی اختراع تلگراف بی‌سیم، که از طریق رادیو ـ الکتریستیه به‌رشتهٔ الکترونیک منجر شده است.

۱

صدا و سیما

ثبوت و چاپ تصویر در عکسبرداری

درگذشته، در مجلد سوم (صفحهٔ ۹۶۸) دیدیم که نخستین عکسبرداریها مدیون آقای نیسفور نیپس بود که صفحاتی را آماده کرد که می‌شد آنها را به‌طور مکانیکی با کمک روشهای چاپ سنگی تکثیر کرد. باز هم در همین راه و برای گسترش امکانات نمایش آثار چاپی، آماتورهای متعددی کوششهای خودشان را در طول چندین دهه پس از کشف روشهای آقای داگر و نیز فاکس تالبت، دنبال کردند.

شماری از مفسران تاریخ عکاسی، آبشخور این رشته را مشاهدات آقای ی. ه. شولتس[1] در ۱۷۲۷ یا شله در ۵۰ سال پس از آن درباره رنگ گرفتن نمکهای نقره‌ای که نور دیده‌اند و عده‌ای دیگر آن را در شرح اصل تاریکخانه توسط ج. ب. دلاپورتا[2] در اواخر سده شانزدهم، می‌دانند. درحقیقت هر دو پدیده از مدتها پیش شناخته شده بودند و عکسبرداری، در ربع دوم سدهٔ نوزدهم پیدایش یافت زیرا ساخت شیشه‌های نوری در آن زمان به‌درجه‌ای از دقت رسیده بود که برای اینکه جسمی، تصویر واضح در تاریکخانه بدهد کافی باشد.

1. J. H. Schulz 2. J. B. della Porta

عکسبرداری روی صفحهٔ نقره‌دار: رشتهٔ شیمی در دورانهای تزلزل تکنیکهای عکسبرداری، بسیار محدود بود. آقای نیسفور نیپس که وی را بدون چون و چرا، نخستین مبتکر این رشته می‌دانند، توانست تصویری را در تاریکخانه، روی سطحی حساس چاپ کند، زیرا وی ترجیح می‌داد از چاپ سنگی استفاده کند که تکنیک آن را آقای زنفلدر در ۱۷۹۶ تکمیل کرده بود. گرچه وی طراحی نمی‌دانست. پیش از وی در ۱۸۰۲ آقایان همفری دیوی شیمی‌دان انگلیسی و تامس وجوود[1]، پسر دارندهٔ کارخانه سرامیک‌سازی جوسایا[2]،، تکثیر سیاه و سفید تابلوها را روی شیشه، چرم سفید دارای پوشش نیترات‌نقره، به‌اصطلاح امروزیها با تماس، انجام دهند. آنان هیچ وسیله‌ای برای ثبوت عکس نداشتند و در کوشش خود برای به‌کار گرفتن تاریکخانه ناموفق بودند، شاید به این علت که ساختمان عدسیهای جسمی بی‌رنگ هنوز مناسب نبودند و آنان فکری برای تنگ‌کردن منفذ وسیله‌ای که در دست داشتند نکردند.

نیپس اندیشه بالا را به‌کار بست و در آغاز، نه از نمک‌نقره که ثبوت آن ممکن نبود، بلکه از محلول روغنی قیر یهودیه که در اثر قرارگرفتن در معرض نور تا اندازه‌ای محلول میشود استفاده کرد.

محلول را در آغاز روی صفحه‌ای شیشه‌ای می‌کشیدند، اما نتایج پایدار با صفحهٔ قلع آماده شده با اسیدنیتریک غلیظ، صفحهٔ حکاکی شده‌ای می‌داد که با آن می‌شد نقشها را روی کاغذ، چاپ کرد، این نخستین طرح از انتقال تکنیک چاپ سنگی است که می‌بایست از راههای پرپیچ و خمی، به پیدایش روش چاپ افست در ۱۹۰۴ بینجامد.

آقای نیپس هنوز این شایستگی را داشت که با کارهای خود، در مدتی برابر پانزده سال، سرانجام به‌کاربرد صفحه‌ای با پوشش نقره و حساس به بخارهای ید راه یابد و با میانجیگری آقایان ونسان و شارل شوالیه نورشناس که نخستین سازندگان مواد عکاسی یا چاپ بروش داگر- پس از نخستین موفقیتهای داگر، در ۱۸۳۹، بودند- با آقای داگر ارتباط گرفت. موقعیتهای کاربرد تکنیک چاپ داگری، یا سیستمی که برپایهٔ فعالیت این مخترع در فاصلهٔ زمانی بین امضای یک قرارداد در ۱۸۲۹ با آقای نیپس که در ۱۸۳۳ فوت کرد و انتشار روش وی، معمولاً توصیف می‌شود. گرچه نیپس بی‌تردید، اساس روشهای چاپ داگری را شخصاً کشف کرده بود، اما داگر بود که نام نیپس را، با مجادلات قلمی خود که به افشای هیجان‌آور اختراع انجامید، از فراموشی نجات داد.

آقای داگر که هم هنرمند- نقاش و هم تماشاخانه‌دار بود، بویژه از نبوغ تحت تأثیر قرار دادن افکار عمومی و رواج دادن چاپ داگری در مدت بسیار کوتاه برخوردار بود.

1. Th. Wedgwood 2. Josiah

... و پیامدهای آن: خیزابهٔ دیرپای چاپ داگری که بسرعت همهٔ اروپا و امریکا در نوردید برای تحول شیمی عکسبرداری زیان‌آور، اما به سود پیدایش و تکمیل دستگاه عکسبرداری شد.

این توفیق چنان با مهارت زمینه‌سازی شد که آقای داگر پذیرفت که روش وی (داگرئوتیپ) در ژانویهٔ ۱۸۳۹ به توسط فیزیکدانی با شهرت آراگو بطرز نمایشی ارائه شود ـ کاری که در همهٔ موقعیتهای زندگی درخشانش، خصیصهٔ وی بود. با این‌حال، این موفقیت نشان می‌دهد که در آن زمان، نوعی انتظار روانی، اگر نه نیاز اقتصادی، وجود داشت که برآورده شد و انگیزهٔ چندین قریحه آزمایی در طریقهٔ داگرئوتیپ بود.

برای پاسخگویی به این نیاز، سازندگان و نورشناسان، تقریباً در همان زمان وسیله‌ای ساختند که بدون نیاز به پیشرفت بازهم بیشتر تکنیکها، عکس برمی‌داشت. اپتیک دقیق، درگذر نخستین دهه‌های سدهٔ نوزدهم، چه در ساخت شیشه‌های اپتیکی، بویژه فلینت (شیشهٔ سرب‌دار)، و چه در تراش عدسیها و ساخت عدسیهای جسمی پیشرفت چشمگیری داشت. در همین زمان بود که میکروسکوپهای با عدسی جسمی بی‌رنگ، پس از ساخت عینک، رواج یافتند. پس از دورهٔ رکود زودگذر به نفع تلسکوپهای انعکاسی، ساخت تلکسوپهای بزرگ انکساری را نورشناسان، با تسلط کامل در حرفهٔ خود از نو شروع کردند و وسایل اخترشناسی با اندازه‌ها و دقتهای روزافزون ساخته شدند.

محاسبه و ساخت عدسیهای جسمی برای عکسبرداری، بویژه از چهره، برای آنها دشوار نبود. آقای شارل شوالیه از همان سالهای نخست در پاریس و آقای فریدریش فوکتلندر[1] در وین نوعی عدسی جسمی ارائه داشتند که به این نیازها پاسخ می‌داد. عدسی فوکتلندر را، پتسوال[2]، فیزیکدانی که آن را محاسبه کرده بود، نامیدند و تا آغاز سدهٔ بیستم به‌کار گرفته می‌شدند.

داگرئوتیپ یا چاپ‌داگر تصویری بود که روی صفحهٔ مسین با پوشش نقره به‌دست می‌آمد، و مطابق روش نیپس، با بخارهای یُد، که گاهی بخارهای بروم نیز به آن افزوده می‌شد، حساس می‌گردید؛ مدت توقف آن در تاریکخانه‌ها طویل بود، بین پانزده تا سی دقیقه، بعداً این صفحه را در یک جعبهٔ پر از بخار جیوه قرار می‌دادند تا تصویر ظاهر شود؛ برای ثبوت تصویر، آن را در آب نمک‌دار، یا در هیپوسولفیت دوسود رقیق می‌شستند. خاصیت هیپوسولفیت در ثبوت تصویر پنهان در نمکهای نقره، توسط آقای جان هرشل، اخترشناس انگلیسی، دقیقاً در ۱۸۳۹ کشف شد.

عکسبرداری روی کاغذ و شیشه: گرچه آقایان فرانسوی نیپس و داگر مخترعان عکسبرداری بودند، انگلیسیها اختراع آن را به و. ه. فاکس تالبت نسبت می‌دهند. درست است که داگرئوتیپ، تنها

1. F. Voigtlander 2. Petzval

به آزمایشی روی صفحهٔ دارای پوشش نقره‌ای انجامید، اما با وجود زینتهایی که در تمام مدت سی سال بدان افزوده شد و رونق آن را با وجود پیدایش روشهای متعدد دیگر حفظ کردند، هیچ در دیگری را نگشود. حداکثر می‌توانستند یک داگرئوتیپ را با تیزاب عمل آورند تا آن را به‌شکل صفحهٔ نقشداری بسازند و در زیر ماشین چاپ نمونه‌هایی به‌دست آورند ـ روش تکثیری که بسیار کم مورد استفاده قرار می‌گرفت. برعکس، روش کالوتایپ[1] که آقای تالبت در ۱۸۴۱ آن را به‌ثبت داد پس از هشت یا نه سال کارهای دشوار، طرح اولیهٔ تکنیک عکسبرداری ـ یعنی گرفتن نگاتیف روی فیلم شفاف و چاپ نمونهٔ پوزتیف روی کاغذ ـ را پایه گذارد.

موفقیت داگرئوتیپ عملاً مانع پیشرفت کالوتایپ شد، اما مانع عمدهٔ عملی کردن روش اخیر، چیزی جز دشواری اجرای آن نبود. فیلم آن ورقهٔ کاغذی بود که کمی بعد با آغشته کردن جزئی آن با موم شفاف شد. حساسیت آن مدیون آغشته کردن پیاپی با محلول نیترات‌نقره، سپس یدورپتاسیم و در پایان، به‌هنگام کاربرد با نیترات‌نقره، اسیداستیک و اسیدگالیک بود. سپس آن را گرم و برای شست‌وشو، پاک کردن با ابر و خشک کردن، قیچی می‌کردند. سرانجام عکسبرداری با این روش بسیار سریعتر از طریقهٔ داگرئوتیپ شد. با شستن فیلم با مخلوط گالو ـ نیترات‌نقره و خشک کردن درگرمای یک شمع، عکس ظاهر می‌شد. سرانجام فیلم را در محلول هیپوسولفیت ثابت می‌کردند. چاپ نمونهٔ پوزتیف با تماس روی یک ورقه کاغذ آغشته به نیترات‌نقره انجام می‌گرفت. بعدها، آقای تالبت اعلام کرد که می‌تواند عکسها را، بزرگ (آگراندیسمان) کند.پس از شروع سالهای ۱۸۴۰ میان محققان نوعی همچشمی شدید درگرفت که تا زمان پیدایش برومیدنقرهٔ ژلاتینی که سطح فیلم را حساس می‌کند ادامه داشت. ترکیب حساس‌کنندهٔ اخیر را آقای ر. ل. مدوکس[2] در ۱۸۷۱ کشف کرد و تولید صنعتی آن در ۱۸۷۴ در انگلستان آغاز شد.

سراسر این دوره مشحون از اکتشافات هیجان‌آور، و جنگ بر سر تقدم و مجادلات قلمی است. عکاسانی که نام آنها در تاریخ این هنر مانده است اکثر به راه تالبت رفته‌اند، جز احیاناً آقای ایپولیت بایار[3] که بدون اطلاع ازکارهای تالبت، روشی بسیار مشابه وی طرح کرده است. آقای بایار بدون پرورش علمی، درحالی‌که از رشتهٔ شیمی جز موادی که در مغازه‌ها بود چیزی نمی‌دانست، شخصیت آماتور چالاکی را داشت که در تاریکی در جست‌وجوی چیزی است.

چند عمل، حداکثر گرایش به‌سوی آماده‌سازی امولسیونی برای تشکیل لایهٔ حساس را نشان می‌دهد: مخلوط ژلاتین و بیکرومات پتاسیم که دانه‌های زغال در آن معلق بود از آلفونس پوات‌ون، ۱۸۵۵. روش اخیر بمنظور تکثیر عکس با دستگاه چاپ طرح شده بود. این روش برپایهٔ خاصیت

1. calotype 2. R. L. Maddox 3. Hippolyte Bayard

ژلاتین بیکرومات‌دار بود که باید بر اثر نور دیدن آن در آفتاب، کم‌وبیش در آب محلول شود، گرد زغال که در مخلوط وجود داشت یا پس از شست‌وشو اضافه می‌شد برای مشخص کردن تصویر بود. کاغذ آغشته به این ماده گویا برای چاپ نمونهٔ پوزتیف بسیار به‌کار برده می‌شد.

درگذر همین دوره، یک مادهٔ شیمیایی دیگر ساخته شد، کولودیون، که در آینده کاربرد یافت (رجوع کنید به مجلد چهارم، صفحهٔ۶۹۳). آماتورهای متعددی تلاش کردند تا بتوانند از آن برای تثبیت نمکهای نقره روی صفحه‌ای از شیشه استفاده کنند. آقای اسکات آرچر انگلیسی در ۱۸۵۱ روشی را ارائه داد که بسرعت رواج یافت و چند سال بعد، سبب کسادی طریقهٔ داگرئوتیپ شد.

کولودیون را روی صفحه‌ای شیشه‌ای با مهارت طوری می‌گستردند که با چکیدن قطرات مایع اضافی روی شیشه، ازگوشه‌ای از این صفحهٔ مایل روی دهانهٔ یک بطری، پایان می‌گرفت، به‌طوری‌که تنها لایهٔ یکنواختی روی شیشه می‌ماند. پس از اینکه صفحه را خوب خشک می‌کردند، آن را در ظرفی ته صاف، محتوی محلول نیترات نقره می‌گذاشتند. زمانی‌که همهٔ سطح کولودیون کاملاً مرطوب شد، این صفحه در جعبه‌ای گذاشته می‌شد و با این صفحهٔ مرطوب عکسبرداری می‌کردند. تصویر را با محلولی از اسیداستیک و اسیدپیروگالیک ظاهر می‌کردند. در پایان، ثبوت عکس، در هیپوسولفیت‌سدیم انجام می‌گرفت.

هرچند که این روش در گرو نوعی مهارت عمل‌کننده بود، استفاده از کولودیون مرطوب بزودی جای خود را به کولودیون خشک داد و موفقیت سریعی یافت. این روش در واقع جانشین روشهای دشوار نخستین عکاسان این سده، نیپس و داگر از یکسو و فاکس تالبت از سوی دیگر شد.

لایه‌های حساس از هالوژنیدنقرهٔ ژلاتینی: آلبومین و ژلاتین بیکرومات‌دار با زغال، با وجود موفقیت روشهای کولودیونی مرطوب و خشک، تا مدتها به‌کارگرفته می‌شدند. آنها بویژه این حسن را داشتند که توجه را به استفاده از نامیزها (امولسیونها) برای تهیهٔ لایه‌های حساس جلب کردند. از جمله آقای مارک-آنتوان گودن، نخستین کسی بود که در طی دههٔ ۱۸۶۰، تهیهٔ نامیز هالوژنور نقره در کولودیون را مطرح کرد. روش آقای پوات‌ون، کاربرد ژلاتین را القا کرده بود. بدین‌علت آقای مدوکس پس از اینکه چند تجربه، مسأله را روشن کردند تصمیم به‌دخالت در ماجرا گرفت. هنوز لازم بود چند تجربهٔ کورکورانه اجرا گردد تا این روش به‌طور قطعی به‌کارگرفته شود. در سال ۱۸۷۸ زمانی‌که چارلز. ا. بنت[1] متوجه شد که نامیز ژلاتین اگر در دمای ۳۲ درجه برای چندین روز بماند تا برسد حساسیت آن به نور بیشتر می‌شود؛ بن‌بست برطرف شده بود.

همهٔ شرایط برای اینکه این تکنیک عکسبرداری در همه‌جا به‌کار گرفته شود فراهم شده

1. Ch. E. Bennett

بود. ـ اپتیک، مکانیک، عملیات شیمیایی ـ برای اینکه عکسبرداری و چاپ عکس سریع، واضح؛ و ساده انجام گیرد. در این زمان وسایل چاپ فوتومکانیکی پیدایش یافت. بر روی این پایه‌ها، صنایع بزرگی استقرار یافتند.

تا آن زمان دادوستد وسایل و مواد عکاسی درکارگاههای کوچکی انجام می‌شد که با دستگاههای تولیدی نسبتاً ساده‌ای کار می‌کردند و تولید آنها روزبه‌روز بود. دهۀ ۱۸۷۰ شاهد پیدایش مؤسساتی بود که بعضی از آنها بسرعت ابعاد مؤسسات بین‌المللی را یافتند. نامیز ژلاتین ـ برومید که ساخته شد، مسألۀ فیلم آن مطرح گردید. شیشه یکی از اجسام کاملاً آشنا برای عکاسان بود و حدود نیم سدۀ دیگر هم بسیار رایج باقی ماند. اما کاربرد آن روزبه روز کمتر شد. نخست سلولوئید، سپس اجسام دیگری با پایۀ نیتروسلولوز، در رواج سریع عکسبرداری مؤثر افتادند.

سازندگان، در انگلیس Liverpool Dry Plate & Co (در ۱۸۷۴) در بلژیک (۱۸۷۸)، در فرانسه آقای آنتوان لومییر و پسران (در ۱۸۷۹) کار خود را شروع کردند. کاغذ برای پوزتیف از ژلاتین برومید در ۱۸۸۰، احتمالاً به توسط آقای لامی[1] سازندۀ کاغذ کپی (کاربن)، ساخته شد. کارگاه وی از پیشه‌وری فراتر نمی‌رفت.

مؤسسات دیگر در آغاز کار خود، پایۀ صنعتی و بازرگانی چشمگیری نداشتند، اما آنها از این شیفتگی رایج به ژلاتین ـ برومید برای ادامۀ موفقیت خود در تسخیر بخش مهمی از بازار جهانی که درگسترش سریعی بود طی چند سال استفاده کردند. وضع لومییرها در لیون و مؤسسه جرج ایستمن[2] که در ۱۸۸۱ گشایش یافت و وضع گوستاو گییمینو[3] که کار خود را در ۱۸۸۳ شروع کرد چنین بود. در سال ۱۸۸۸ آقای هایت، که در ۱۸ سال پیش سلولوئید را اختراع کرده بود توانست با این ماده فیلمهایی دارای سطح هموار بسازد و در سال بعد آقای رایشنباخ[4] آن را مستعد برای تثبیت یک لایۀ حساس یافت. ساخت چنین فیلمی را آقای ایستمن بسرعت شروع کرد و طی پانزده سال، تقریباً انحصار آن را، با ۹۰٪ تولید جهانی در دست داشت. در فرانسه، ساخت فیلمهای نرم، در همین اوان توسط برادران لومییر آغاز شده بود.

دو پیشرفت فنی دیگر، از میان پیشرفتهای فراوان، با تأخیرهای متفاوتی، در افزایش مصرف فراورده‌های عکاسی مؤثر بودند. یکی از آنها مربوط به نامیزها و حساسیت آنها به‌همۀ تابشهای رنگین‌کمان، یا لااقل نسبت به بخش بزرگتری از طیف ترکیبات نخستین برومید ژلاتین‌دار است. ساخت نامیزهای اورتوکروماتیک[5] به‌دنبال ردیفی ازکارهای پراکنده، که در فاصلۀ سالهای ۱۸۷۲

1. Lamy 2. G. Eastman 3. G. Guilleminot 4. Reichenbach

۵. Orthochromatique حساس به‌همه رنگها جز رنگ قرمز.ـم.

تا ۱۹۰۴، اساساً در مراحل نخست انجام گرفتند، عملی شد. این تحقیقات، احتمالاً برای بار اول در رشتهٔ عکاسی، بر جریانی متکی بودند که برپایه‌های علمی، بویژه پدیده‌های جذب نور توسط صفحات رنگی، قرار داشت. بخوبی روشن است که خاطرات پرآوازهٔ آقایان شارل کرو[1] و دوکو دو اورون[2] دربارهٔ عکسبرداری رنگی در سالهای ۱۸۶۸ و ۱۸۶۹ تأثیر مستقیمی در این رشته از تحقیقات نداشته‌اند. موفقیت در این کار با تعیین رنگهایی ـ از میان شمار فراوان رنگهای سنتزی که در آن زمان ساخته می‌شدند ـ که امولسیونها را نسبت به تابشهای قرمز، نارنجی و زرد حساس می‌کنند ـ به‌دست آمد. فراورده‌های اولیه سبب شد که همهٔ استفاده‌کنندگان از آن تصاویر هرچه کاملتری به‌دست آورند. کوششهایی برای بهتر کردن این کیفیتها و گوناگونی آنها هنوز هم ادامه دارد.

فیلمهای سلولوزی: دومین پیشرفت قاطع درگشایش دوران صنعتی فراورده‌های عکاسی، پذیرفتن فیلمهای سلولوزی است. آقای جرج ایستمن نخستین کسی بود که در سال ۱۸۹۰ دوربین و فیلم نرمی را به بازار آورد تا عکاسان از کارهای دقیق ظهور و چاپ عکس آزاد گردند. کار وی بسرعت از سوی همهٔ سازندگان وسایل عکاسی آن زمان، بویژه مؤسسهٔ لومییرها، اقتباس شد. برادران لومییر در جمع مخترعان سینما مقام مهمی دارند، زیرا در ۱۸۹۵ نخستین کسانی بودند که آن را به‌کار بردند.

تولید صنعتی فیلمهای عکاسی، تنها در اثر گسترش فیلمهای ساخته شده از سلولوز چوب و مشتقات نیتروژن‌دار آن، عملی شد. به‌همین دلیل، این صنعت همزمان با مراحل اولیهٔ صنعت الیاف مصنوعی نساجی وکمی پس از ساخت سلولوئید است. زمانی‌که تولید استاتهای سلولوزی ـ موادی که دستکاری و نگاهداری آنها برخلاف مواد نیتروسلولوزی که خطر ناپایداری و انفجار را داشتند، کاملاً بی‌خطر هستند ـ به مقیاس صنعتی رسید، فیلمهای پوسته‌ای سلولوزی بیش‌از دو مادهٔ اخیر رونق یافتند. تنها پس از جنگ‌جهانی اول بود که همهٔ شرایط فنی برای تولید استاتها فراهم آمد و در همین زمان، کار عکسبرداری عمومیت یافت.

سی سال پس از آن، ردیف تازه‌ای از انواع فیلمها، با استفاده از مواد سنتزی، بسپارهای وینیلی، مانند پلی‌استیرن، پلی‌استرها و ترکیبات دیگر بسپارشونده، ساخته شدند. فیلمهای ساخته شده از استاتهای سلولوزی باز هم برای سینما و عکسبرداری به‌کار گرفته می‌شد، اما اجسامی مانند پلی‌استرها بر اثر پایداری مکانیکی بسیار خوب، تغییرناپذیری ابعادشان بر اثر تغییر دما و رطوبت و خشک شدن سریع، کاربرد استاتها را بسیار محدود کردند. در همان زمانی‌که فیلمهای شفاف برای نگاتیف یا دیاپوزتیف، یا وسایل آماده‌سازی کاغذها برای چاپ نمونه‌های پوزتیف با پیگیری بررسی

1. Ch. Cros 2. Ducos du Hauron

می‌شدند، توانستند با داخل کردن مواد صمغی از قبیل کولوفان، ژلاتین، رزینهای ملانین ـ فورمول، مواد معدنی، تاناتها و بی‌رنگ‌کننده‌های اپتیکی، در خمیر کاغذ، ثبات خوبی به آن بدهند. برای اینکه کاغذ رطوبت‌ناپذیر شود، به‌جای لعابهای نیتروسلولوزی لایهٔ نازکی از پلی‌اتیلن مصرف کردند.

ثبوت رنگها: اختراع روشهای عکس رنگی معمولاً با داستان شکست دو آماتور: آقایان لویی دوکو دو اورون، و شارل کرو اندوهناک شده است. این دو نفر تصادفاً، بدون اطلاع از کارهای یکدیگر و تقریباً همزمان، در ۱۸۶۹، محلولهای مشابهی را پیشنهاد کردند ـ این امری است که در رشته‌های دیگر هم دیده شده است.

نخستین اقدامات در این راه را سزار بکرل، در ۱۸۴۸ انجام داده بود که با تحقیق روی پدیدهٔ تداخل توانست روی ورقهٔ نازکی از نقرهٔ کلردار شده بروش الکترولیز، تصویری از رنگین‌کمان به‌دست آورد. این رنگها در نور آفتاب سریعاً محو شدند، نمونه‌ای از این کار بدلیل نگاهداری دقیق در تاریکی هنوز هم وجود دارد. بعدها آقای گابریل لیپمان در ۱۸۹۱ توانست عکسی را که از رنگین‌کمان گرفته بود با همان پدیدهٔ تداخل در لایه‌های نازک، روی فیلمی حساس، دربرابر آینه‌ای از یک ظرف جیوه‌ای، تثبیت کند. عکس رنگین‌کمان لیپمان برخلاف عکسی که بکرل گرفته بود، ثابت ماند. هر دو عمل، تجربه‌های بدون پشتوانه بودند، حتی عکس دوم، تکثیر نشد.

عکسهای رنگی (هلیوکرومی) دوکودواورون: راه‌حلهایی که آقایان اورون و کرو طی دههٔ ۱۸۶۰ پیشنهاد کردند مبتنی‌بر اصلی بود که به‌شکلهای گوناگونی مسأله را بعدها حل کرد. در واقع گزینش رنگهای اصلی قرمز، زرد، آبی توسط پرده‌های ویژه بود و به‌دست آوردن مجدد این ردیف رنگها، به‌روش رویهم گذاردن سه تصویری که هرکدام با یک رنگ گرفته شده بود. به‌طور دقیقتر، این گزینش در رنگهای مکمل از رنگهای اصلی، سبز، بنفش، نارنجی، از طریق ایجاد دوبارهٔ یک تصویر پوزتیف انجام می‌گیرد.

با وجود همزمانی مکاتبه با Socie'te' Francaise de Photographic، بین این دو نفر تفاوتی بود. نفر نخست، این روش را که شرح می‌داد آزمایش کرده بود، درحالی‌که نفر دوم، تنها اصول کار را معرفی می‌کرد. شارل کرو هیچ‌گاه وسایل اجرای کمترین تحقیق تجربی را نداشت. گرچه دوکو دو اورون چندین عکس سه رنگ گرفته بود، منابع لازم برای صنعتی کردن روش خود را، با وجود ادامهٔ کوششها به‌مدت بیست سال دیگر، نداشت.

وی در آزمایشهای نخستین خود، متوالیاً سه کلیشهٔ اصلی را با تماس دادن آنها در یک شاسی با جسم رنگی و شفافی نظیر برگها، گلبرگها یا بالهای پروانه به‌دست آورد. سپس او وسایل متعدد

عکاسی دارای یک یا سه عدسی جسمی را طرح کرد و، بدین ترتیب، در یک عکسبرداری، سه کلیشهٔ نگاتیف، به‌دست آورد. عدسیها و آینه‌های مایل، نور را روی سه پرده منطبق بر هم برمی‌گردانیدند و هر پرده یک تصویر برگزیده را روی صفحهٔ حساس می‌داد.

آقای اورون که در نخستین سالهای آزمایشهای خود، نامیزهای برومید ژلاتینی را نداشت با آلبومین یا کولودیون، سطوح حساس را برای نگاتیف، آماده می‌کرد. وی در انتخاب ژلاتین بیکروماتی زغالدار برای چاپ پوزتیفهای خود آینده‌نگر بود. با روش رنگی کردن تودهٔ مادهٔ مورد نظر، در مرحلهٔ آماده کردن آن، جهت به‌دست آوردن نمونه‌هایی که کمی رنگی باشند ـ که آنها را بیشتر هنری می‌گفتند ـ آشنا بود. وی نسخه‌هایی برای تهیهٔ ژلاتینها عرضه داشت که با لایه‌ای از کولودیون قرمز، زرد یا سبز پوشانیده می‌شدند تا تودهٔ آنها، رنگی شود. او با مهارت تحسین‌انگیزی، آنها را بسیار نازک تهیه می‌کرد.

هر سه نمونه، پس از چاپ و شست‌وشو روی یکدیگر گذاشته می‌شدند: زرد در زیر، روی یک صفحهٔ سبز. آنها با بازتاب کردن یک عکس رنگی، که جلای رنگهای آن، در مقایسه با جلای اصل، می‌نمود و نرم و کم‌رنگ باقی می‌ماندند وی رنگدانه‌های معدنی زرد کروم و آبی پروس را به‌کار می‌برد؛ و در مورد رنگ قرمز، از روناس؛ اما بدون تردید از حشرهٔ قرمزدانه استفاده می‌کرد، فام (= ته‌رنگ) رنگهای طبیعی آنهایی که هنوز هم هستند، ظاهراً کمتر ضعیف شده‌اند.

اتو کرومهای لومییر: کارهای اورون بسیار جالب بودند، اما با وجود کمکهای فنی یک عکاس حرفه‌ای در پاریس، با نام ا. ماریون[1] که در آن زمان بسیار سرشناس و سازندهٔ مواد عکسبرداری بود، به موفقیتهای بازرگانی نینجامیدند. کاربرد آنها حتی برای یک آماتور با حوصله، بسیار پیچیده و ظریف بود. توضیحات آقای دوکو، که میل داشت بسیار دقیق باشند در لفاظی تا حدودی سست، گم شده بودند. وانگهی چنین می‌نمود که خود وی هم نتوانسته است از پیشرفتهای سریع عکاسی آن زمان استفاده کند.

با این‌حال، روش وی به‌رسمیت شناخته شد و عملگران بسیاری برای ساده کردن این عملیات با تعویض عکسبرداری روی سه نگاتیف با یک روش تک‌نگاتیفی کوشیدند.

آنها کارگزینش را با کمک شبکه‌های شفافی انجام دادند که با روبه‌روی هم قرار دادن نوارهای نازک سه رنگی دوکو تشکیل می‌شد. در آغاز سدهٔ بیستم از این راه توانستند عکسهای رنگی بسیار طبیعی بردارند. آقای دوکو هم سرانجام در سال ۱۹۰۷ روشی را ارائه داد که در پایان می‌توانست از میان آن همه تجربه گران، موفق بیرون آید بشرطی که اتوکروم که اصل آن را دوکو دقیقاً چهل سال

1. A. Marion

پیش کشف و ارائه داشته بود، از سوی برادران لومییر عرضه نمی‌شد.

در این زمان ساخت سطوح حساس ، با یک وسیلهٔ مکانیکی انجام می‌گرفت که از نظر امکانات فنی و کیفیت فراورده خیلی از آن فاصله داشت ـ چیزی که از سی سال پیش در دسترس بود. برادران لومییر اندیشیده بودند که به‌جای شبکه‌های سه رنگ عکسبرداری، از لایه‌ای متشکل از مخلوط همگن ذرات بسیار ریز نارنجی، سبز یا بنفش استفاده کنند. صفحهٔ زیر رنگها از دانه‌های نشاستهٔ سیب‌زمینی، دقیقاً به اندازهٔ ۱۵ (μ) ساخته می‌شد. تنها لایهٔ یکنواختی از این مخلوط روی صفحهٔ شیشه‌ای مالیده می‌شد و با لایه حساسی آن را می‌پوشاندند. عکسبرداری از پشت شیشه و لایهٔ رنگدانه انجام می‌گرفت. نمونه‌های دیاپوزتیف از آنها چاپ شد.

برای تولید صنعتی آن باید وسایلی ساخته می‌شد که تنها مؤسسه‌ای نظیر برادران لومییر می‌توانست تحقیق و کارگذاری آن را عهده‌دار شود. اتوکروم که چند سال پیش از آغاز جنگ جهانی اول به بازار فرستاده شد، به‌عنوان راه‌حل قطعی مشکل ثبوت عکسهای رنگی تلقی شد. چاپ این عکسها، همان ویژگی کم‌رنگی روش آقای دوکو را داشت. که شفاف بودن فیلم، رنگها را باز هم محوتر کرده بود.

اتوکروم تا حدودی موفقیت یافت اما هرگز به‌اندازه عکسهای سفید و سیاه در آن زمان پا نگرفت. این روش منظماً تکمیل شد تا اینکه در ۱۹۳۲ فیلمهای نرم به بازار آورده شدند. چند سال بعد، در ۱۹۳۵، پیدایش فیلمهای دارای ترکیبات رنگساز از مؤسسات کداک در ممالک متحدهٔ امریکا و آگفا در آلمان، نقطهٔ پایانی برای اتوکروم بود.

تحول به‌سوی فیلمهای جدید: روشهای تازه نیز مانند روشهای پیشین، نتیجهٔ تحقیقات دامنه‌داری بودند که آغاز آنها، حدود ۱۹۱۲ با کارهای ر. فیشر و هـ. زیگریست[1] برای بهتر کردن فراورده‌های رنگزای با مشتقات پارافنیلن دی‌آمین بود. این کارها در ردیفی ازکارها قرار داشت که از سال ۱۸۷۳ بوسیله هـ. فوکل برای حساس کردن (نامیزها) به سبز و به زرد، پس از ۱۸۸۴ بوسیلهٔ یوزف. م. ادر[2] دربارهٔ حساس کردن بوسیلهٔ اریتروزین، در ۱۸۹۰ بوسیلهٔ ف. هورتر و و. س. دریفیلد[3] دربارهٔ عقلانی کردن حساسیت‌سنجی در عکسبرداری در ۱۹۰۲ بوسیلهٔ ا. تراوبه[4] در کاربرد ترکیب ایزوسیانینها انجام می‌گرفت. بعدها در ۱۹۲۳ آقایان هوپ[5]، میلز[6]، و هامر[7] سنتز سیانینها، و در ۱۹۳۵ آقایان ل. ج. س. بروکر[8] و س. هـ. کیز[9] در مورد رنگهای تترا، پنتاکربوسیانینها تحقیق کردند.

درطی همین دهه‌ها مسائل متعدد فیزیکی و شیمیایی دیگری دربارهٔ چگونگی نامیزها و

1. H. Siegrist 2. J. M. Eder 3. V. C. Driffield 4. A. Traube 5. Hope 6. Mills
7. Hamer 8. L. G. S. Brooker 9. C. H. Keyes

مکانیسم حساس کردن آنها، خواص و تأثیرات ژلاتینها و صفحات زیر فیلمها را محققان یا تیمهای تحقیقی به‌نحو پیگیری مورد بررسی قرار دادند، که به‌طورکلی تحت رهبری مؤسسات بزرگ تولیدی بودند. خلاصه کردن پیشرفتهایی که حاصل شد و نیز چگونگی و بسط کارهای دنبال شده دشوار است. گرچه دستاوردهای به‌دست آمده غالباً در تصحیح روشهای ساخت برای بهترکردن فراورده‌های شناخته شده یا در آفرینش روشهای ساخت فراورده‌های تازه بودند، نمی‌توان آن خط تحقیقاتی را که در یک مسیر ثابت پیش می‌رفت، همچون نمونه‌های بسیاری که در رشته‌های گوناگون دیگری با آنها برخورد داشته‌ایم، تحلیل کرد. نامیزهای حساس، موضوع اصلی این تحقیقات بودند، اما حقیقت مسأله‌ای که در این‌باره باید حل می‌شد، مرتباً تجدید می‌گردید: تشکیل هالوژنورها در داخل توده، پیشرفت دانه‌ها و ترکیب دانه‌ای، واکنش‌پذیری در اثر نور و دوای ظهور، ترکیب شیمیایی و خواص، ژلاتین، نقش مواد پروتئینی که در عکاسی تأثیر دارند (تأثیر این مواد در سال ۱۹۲۴ توسط آقایان س. ا. شپارد و ریچارد ا. پانت[1] آشکار شد). وانگهی با بررسی اطراف این مشکلات درهم پیچیده، شمار زیادی از مسائل دیگر هم حل شدند. بدین‌ترتیب، کلافی از تحقیقات ظاهراً سردرگم وجود داشت، و معلوم شد که روش برنامه‌ریزی، که گردآوری تودهٔ قابل توجهی اطلاعات از هر نوع را، برای تحقق یک پیشرفت جمعی ممکن می‌سازد، تقریباً غیرممکن است.

از میان نتایج به‌دست آمده، می‌توان درگسترهٔ بزرگی از زمان، از ۱۸۹۵، مشاهدات رونتگن را دربارهٔ تأثیر اشعهٔ x روی هالوژنورها، حساس کردن نامیزها با پرتو زیر قرمز، در سال ۱۹۱۹ توسط هالر[2] و ادمز که در ۱۹۲۴ و. کلارک با استفاده از نئوسیانینها آن را کامل کرد، و در انتهای دیگر طیف، حساس کردن توسط آقایان دوکلو[3] و ژانته[4] با اشعهٔ فوق‌بنفش بوسیلهٔ فراورده‌های فلوئورسان در ۱۹۲۱. سرانجام در ۱۹۳۵ پیدایش فیلمهای رنگی کداک و آگفا برای برداشتن عکسهای رنگی با چاپ بروش سنتز تفریقی یادآوری کرد.

این دو روش، با وجود برخی تفاوتها در به‌کارگیری اصول اساسی، شباهتهای فراوانی با یکدیگر داشتند. این فیلمها از سه فیلتر تک‌رنگ تشکیل شده بودند که یک لایهٔ فیلترکننده یا عایق میان آنها گذاشته می‌شد. این تک‌رنگها عبارت بودند از زرد که نتیجهٔ لایهٔ حساس به‌آبی بود، ارغوانی یا ماجنتا که نتیجهٔ لایهٔ حساس به‌سبز، و بالاخره، آبی ـ سبز یا سیان که نتیجهٔ لایهٔ حساس به قرمز بود. دیده می‌شود که اصل سه رنگ اصلی و رنگهای مکمل دوکو دو اورون هنوز پایهٔ تکنیکهای ساخت، ظهور و چاپ عکس رنگی است. پس از اندک مدتی، حدود ۱۹۴۲ـ۱۹۴۳ روشهای چاپ روی کاغذ بوسیله همان مؤسسات شناخته شدند ـ روشهایی که فراتر از دیاپوزتیف بود و تکثیر

1. R. E. Punnett 2. Haller 3. Duclaux 4. Jeantet

عکس را ممکن می‌ساخت.

توضیح مفصّل روشهای عکسبرداری رنگی در این مجلد نمی‌گنجد. برای آگاهی از آنها باید به کتابهای توده فهم یا ویژهٔ متخصصین مراجعه کرد. معلوم است که عملیات آماده‌سازی، پس از برداشتن عکس، هنوز هم بسیار پیچیده‌اند و تنها در لابراتوارهای ویژه انجام می‌گیرند؛ با این‌حال کیفیت لازم برای خرید فیلمها، بسیار معین هستند، زیرا مصرف فراوان دارند.

ذکر اهمیتی که این رشته در دهه‌های اخیر در صنعت و بازرگانی به‌دست آورده است کار بیهوده‌ای است. پیش از پایان گرفتن سدهٔ نوزدهم، تکثیر چاپی عکسها برای کتابها و مجلات، انتقال تلگرافی آنها به مقیاس صنعتی رسیده بود. پیدایش روشهای افست، سپس هلیوگراوور در رشتهٔ چاپ، عکاسی را در سالهای ۱۹۲۰ـ۱۹۳۰ بوسیله‌ای جهت دریافت و پخش خبر تبدیل کرده‌اند که پخش نوشتاری را کامل می‌کنند. عکاسی هم چاپ سریع تعداد زیاد نسخه‌های اصلی را که خبرگزاریها به علاقمندان به آنها، روزنامه و نویسندگان عرضه می‌کردند ممکن می‌سازد، و هم روشهای نوینی را پدید آورده است که به لطف آنها تکثیر این عکسها در ماشینهای چاپ با وفاداری به‌اصل انجام می‌گیرد.

ما بحث خود را دربارهٔ عکاسی، بدون اینکه وارد کاربردهای فراوان آن در رشته‌های اشعهٔ X، تشعشعات هسته‌ای، مشاهدات هوانگاری، اخترشناسی و غیره شویم، با تأکید بر اهمیت تکثیر اسناد کاری ببرکت روشهایی که به پیشبرد تکنیکهای عکاسی کمک کرده یا نکرده‌اند، پایان می‌دهیم. مثلاً اختراع روش چاپ عکس یا ژلاتین بیکروماتی، توسط هـ. ف. فارمر در ۱۹۱۹، و چاپ نقشه‌ها و اسناد با روش دی‌آزو بوسیلهٔ س. کوگل[1] در ۱۹۲۳؛ سرانجام در حدود سال ۱۹۵۰، پیدایش نگارش خشک xe′rographie که بسرعت رواج یافت.

نگارش خشک، از تأثیر نور، نه بر مواد شیمیایی، نمکهای نقره و غیره، که بر اجسام عایقی انجام می‌گیرد که در اثر بعضی تابشها، رسانای برق می‌شوند. نیروی جاذبهٔ الکتروستاتیکی بین ذرات دارای علایم متقابل هم به این اثر افزوده می‌شود. پیشرفت این اختراع، حدود پانزده سال زمان گرفت. اصل این اختراع را مدیون آقای چارلزف. کارلسن[2] فیزیکدان امریکایی هستیم که از تکنیکهای چاپ بسیار مطلع بود. وی پس از چند سال که بتنهایی تحقیق می‌کرد، حدود ۱۹۳۸ اطمینان یافت که پدیده‌هایی که در بالا از آنها سخن رفت می‌توانند برای تکثیر اسناد به‌کار گرفته شوند. جسم نور- رسانای مورد استفادهٔ وی سلنیم بود که در آن زمان از خواص آن غالباً استفاده می‌شد. دنبالهٔ تحقیقات را یک گروه از **Battelle Institute** به‌عهده گرفت. این گروه آماده‌سازی صفحات

1. C. Koegel 2. Ch. F. Carlson

دارای سطح نور ـ رسانا و استفاده از تخلیهٔ هاله‌دار برای ایجاد آثار الکترواستاتیکی را به‌انجام رسانید. در اواخر سال ۱۹۴۶ بود که مجموعهٔ دشواریها بکلی برطرف شدند. پیشرفت این نوآوری را بعداً یک شرکت صنعتی عهده‌دار شد که به آن نام زیراکس *Xerox* را داد.

حرکتدهی به تصویر

زمانی‌که تکنیکهای عکسبرداری به فیلمهای بقدرکافی حساس دست یافتند تا تصویرهای خوب درکسری از ثانیه تثبیت شوند، برداشتن عکسهایی بقدرکافی نزدیک به یکدیگر، برای القای حرکات ممکن شد. اختراع نخستین وسایل این کار، در واقع بمنظور تحقیقات علمی بود. بازسازی حرکت عکسبرداری شده دربرابر یک بیننده، با تصویرافکنی روی پرده، بعدها انگیزهٔ گرایش به ساخت وسیلهٔ یک سرگرمی جدید و بهره‌گیری بازرگانی از آن شد.

این گرایش سابقه‌ای دیرپای داشت، زیرا از مدتها پیش (اواخر سدهٔ هجدهم) تجربه‌گران متعددی کوشیده بودند، گاهی هم با موفقیت، تا با استفاده از صفحات خم شونده و مفصلی به‌اصطلاح فانوس سحرآمیز، توهم حرکت را ایجاد کنند. در خلال سالهای ۱۸۸۰ـ۱۸۹۵ مکانیسمهای گوناگونی برای رژه دادن نوارهای عکسی، در آغاز برای فیلمبرداری و سپس برای تصویرافکنی اندیشیده شدند و درگذر سی سال بعدی، صنعت سینما پیشرفت سریعی یافت. سینما با پشت سرگذاردن چارچوب نخستین سرگرمی اعیاد و نمایش در سالنهای سینما، بوسیلهٔ بسیار انعطاف‌پذیر و کارای دریافت و انتقال خبر در همهٔ زمینه‌های فعالیت بشری تبدیل شد.

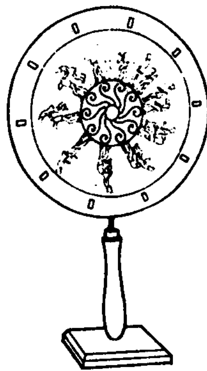
فیزیولوژی دید: پیشتازان سینما از خواص فیزیولوژی دید، برای ایجاد احساس بازسازی حرکت با رژه دادن یک ردیف نقاشیهای اولیه‌ای که مراحل مختلف حرکت را نشان می‌دهند، کم‌وبیش آگاهانه عمل می‌کردند.

پدیدهٔ دوام احساسهای شبکیهٔ چشم در بیشترکتابهای قدیمی فیزیک آمده است. در رسالهٔ *Telescopium* نوشتهٔ (۱۶۸۴) ژوان تسان[1] حتی آزمایشی از کاربرد تجدید حرکت در شش مرحلهٔ شخصی دیده می‌شود که با عصای خود بازی می‌کند.

با پیشرفت نمایشهای فانوس سحرآمیز، شاهد «مناظر متحرک» شدیم که توسط آن «اپتیک دانان» با بازی با کاغذ سیاه، دو حالت انتهایی حرکت یک شخص را متصل به‌هم می‌نمودند؛ دیدن پشت سر هم دو حالت اساسی چنین حرکتی، بازسازی آن را القا می‌کرد.

با این‌همه، باید گفت که در سال ۱۸۲۹ بود که پایه‌های واقعی بازسازی حرکت براساس تصاویر

1. Joanne Zahn



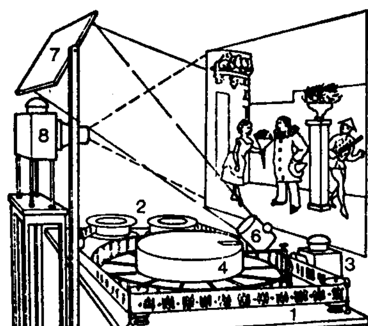
شکل ۱. فناکیستیکوپ، از ژ. ا. پلاتو (۱۸۲۹).
تصویر از عقب، از خلال سوراخهای آینه‌ای که دربرابر دستگاه گذاشته شده است، دیده می‌شد.

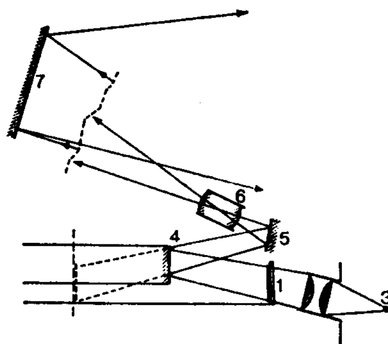
تکی، توسط ژوزف ـ آنتوان پلاتو[1] بلژیکی گذارده شد. آقای پلاتو همچنین بر آن شد که با دقت هرچه بیشتر مدت دوام احساس را در شبکیه تعیین کند و برپایه اندازه‌گیریهای خود نخستین دستگاهی را که بازسازی رضایت‌بخش حرکت را تأمین می‌کرد، در سال ۱۸۳۳ ساخت (شکل ۱). دستگاه فناکیستیکوپ[2] هر تصویر را تنها در لحظات کوتاهی در معرض دید قرار می‌داد، مدتی که یک شکاف تنگی از برابر چشم می‌گذشت. شکافها در محیط یک دیسک ایجاد شده بودند و هرکدام مربوط به یک تصویر می‌شدند؛ تنها کافی بود این دیسک را با سرعت بسیار زیاد به‌چرخانند که تصاویری که متوالیاً از برابر یک شکاف می‌گذرند به یکدیگر مربوط شوند.

از اسباب‌بازی تا نمایش: اصل دستگاه فناکیستیکوپ، ساخت شماری از وسایلی را ممکن کرد که دربرابر نوارهای نقاشی می‌چرخیدند تا صحنه‌های کوتاهی از حرکت دربرابر دیدگان ایجاد کنند. از همهٔ این اسباب‌بازیهای عرضه‌شده، دستگاه پراکسینوسکوپ[3] آقای امیل رینو[4] بوسیلهٔ مخترع آن کامل شد و به نخستین دستگاه تصویرافکنی تبدیل گردید و توانست نقاشیهای متحرک را مدت طولانی نمایش دهد.

آقای رینو، به‌عنوان پیشاهنگ سینما شناخته شده است هرچند که وی از هیچ وسیلهٔ تکثیر عکاسی استفاده نکرده بود. وی نخستین اسباب‌بازی خود، پراکسینوسکوپ، را در ۱۸۷۷ اختراع کرد، و ده سال پس از آن «تئاتر ـ اپتیک» را. بهره‌برداری تجارتی از آنها تا ۱۸۹۲ انجام نگرفت و تا

1. J. A. plateau 2. Phenakisticope 3. Praxinoscope 4. E. Reynaud





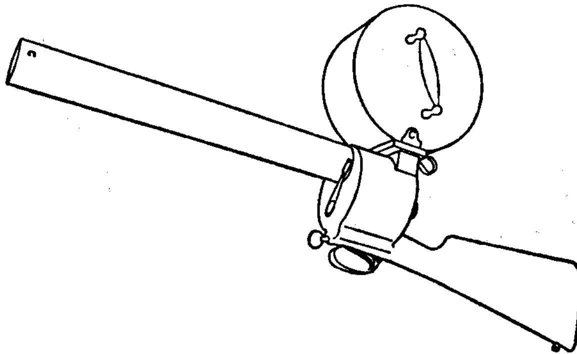
شکل ۲.تئاتر اپتیک امیل رینو (۱۸۹۲).
سمت چپ: نمای کلی؛ سمت راست: مسیرهای نوری: از نوار نقاشیها؛ ۲. طبلک پیچنده و بازکننده؛ ۳. منبع نوری روشن‌کنندهٔ نقاشیها؛ ۴. طبلک آینه؛ ۵. آینهٔ بازتابی؛ ۶. فانوس پروژکتور نقاشیها؛ ۷. آینهٔ بازتابی؛ ۸. فانوس پروژکتور صحنه.

سال ۱۹۰۰، یعنی در تمام مدت مراحل نخستین سینما، فعال بود (شکل ۲).

فکر اختراع‌کنندهٔ آقای رینو به‌شکل بسیار بدیعی، هم در طرحریزی دستگاهش و هم در اجرای نوارهای نقاشی وی خود را نشان می‌دهد. وی در ثبت اختراع خود در ۱۸۸۸، برای نخستین بار از نوار انعطاف‌پذیر به‌عنوان تکیه‌گاه تصویر استفاده کرده است. این نوار، یکپارچهٔ پرده‌ای بود که ورقه‌های ژلاتینی حامل نقشهایی که خود رینو کشیده بود روی آن چسبانیده شده بودند. نوآوری بزرگ دیگر وی، حرکت دادن این نوار از برابر عدسی جسمی پروژکتور بود که توسط دندانه‌های ریز چرخی انجام می‌گرفت که در سوراخهایی در مرکز نوار پارچه‌ای بین هر تصویر درگیر می‌شدند. خود پروژکتور با هوشمندی زیادی با آینه‌های بازتابنده ترکیب شده بود تا تصویر ثابت صحنه و تصویرهای پیاپی اشخاص درحال حرکت را بر پرده جلوه‌گر سازند

هرچند که در اصیل بودن اختراعات آقای امیل رینو، حرفی نیست، هیچ‌گونه سهمی در کار سینما را نمی‌توان به وی نسبت داد. جای شک است که نخستین به‌کارگیرندهٔ نوارهای سوراخدار، ادیسن، پیش از سال ۱۸۹۰ از سیستم رینو اطلاع داشته است. وانگهی خود وی و چند سال بعد هم، برادران لومییر، از همان نخستین آزمایشهای خود با نوارهای فیلمهای عکسبرداری، در راهی دیگر، و با فکری غیر از حرفهٔ هوشمندانهٔ مخترع تئاتر- اپتیک کار کردند.

در واقع، چشم‌انداز سینما که از احساس عکسبرداری بهره می‌گیرد، همان‌طورکه گفته‌ایم، با



شکل ۳.تفنگ عکاسی آقای ماره برای عکسبرداری از پرواز پرندگان روی صفحه (۱۸۸۲).
کارتر بزرگ استوانه‌ای در جلو دارای مکانیسم یک ساعت دیواری است که از ماشهٔ تفنگ فرمان می‌گیرد و در بخش عقب یک پلک‌زن را در ۱/۷۲ ثانیه می‌گرداند و به‌توسط دیسکی دارای ۱۲ روزنه و صفحهٔ عکاسی، ۱۲ عکس لحظه‌ای می‌گیرد. خشابی روی کارتر قرار داده شده است که می‌تواند ۲۵ صفحه را پیاپی به آن برساند.

آزمایشهای متعددی با هدف علمی پدید آمد. نخستین گام در این راه را آقای پ. ژانسن[1] در ۱۸۷۴ با استفاده از یک دیسک فلزی که همچون یک صفحهٔ داگری عمل آورده شده بود ـ تا اینکه عبور عطارد در برابر خورشید را رصد کند ـ برداشت. این دیسک در کانون یک دوربین نجومی گذاشته شد و حول مرکز خود، و به کمک یک چرخدندهٔ ابزار، دور مرکز خود، گردشی تناوبی داشت. مراحل گوناگون این پدیده در این «رولور عکسبرداری» به‌شکل تصاویری که روی تاج دیسک ردیف شده‌اند. ضبط می‌شدند.

این وسیله از دستگاه ژانسن الهام گرفته شده بود که ژول ماره[2] هشت سال بعد آن را به‌شکل یک تفنگ عکاسی مجهز به یک خشاب درآورد که «فشنگ‌گذاری» متوالی ۲۵ صفحه را ممکن می‌ساخت (شکل ۳). با این وسیله بود که تصویرهای مشهور پرواز پرندگان، که غالباً به‌چاپ می‌رسند گرفته شد.

1. P. Janssen 2. J. Marey

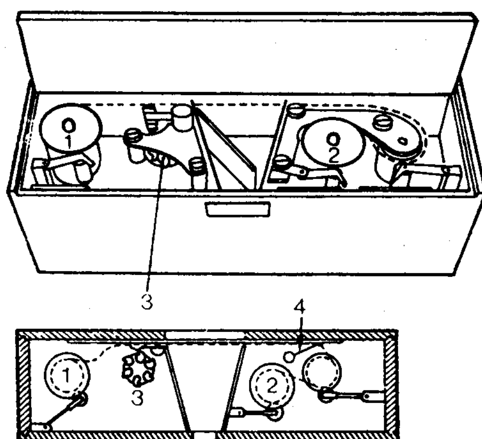
کرونوفوتوگرافی: در این زمان آقای ماره استاد کولژ دو فرانس، روشهای گوناگونی را برای ثبت نموداری بمنظور بررسی پدیده‌های فیزیولوژیکی ـ تپش قلب، تنفس، انقباض ماهیچه‌ای ـ بررسی کرده بود. یکی از آنها به وی امکان داد که با کپسولهای هوایی اختراعی خود، حرکات پاهای اسب را در حالتهای مختلف ضبط کند. یکی از نتایج وی، تکیه بر روی یک پا در موقع چهار نعل رفتن بود که آقای مایبریج[1] امریکایی برای بررسی این نتیجه‌گیری در ۱۸۷۸ نخستین وسیله‌ای را ساخت که امکان می‌داد از جابه‌جا شدن اسب، یک ردیف عکس بگیرد. این وسیله از ۲۴ دوربین عکاسی به‌طور ردیفی تشکیل می‌شد که پلک‌زن آنها با گسسته شدن سیمی که روی اسب‌گرد کشیده شده بود پشت سر هم عمل می‌کردند. تحلیل این اسناد نشان داد که مشاهدات قبلی آقای ماره، درست بودند.

در همین دوران است که ماره توانست یک مرکز تحقیقاتی در محلهٔ پارک د٫پرنس واقع در حومهٔ پاریس تأسیس کند. این مرکز، ویژهٔ تحلیل حرکات انسان یا حیوان به توسط ثبت آنها با عکسبرداری شد. آقای ماره چندین وسیله را پشت سر هم طرحریزی کرد؛ در آنها در آغاز از صفحات، سپس از نوارهای حساس و پلک‌زنهای متناوبی که وی آن را کرونوفوتوگراف[2] نامید استفاده می‌شد (شکل ۴). در دستگاههای با نوار حساس، نوارها با حرکت پیوسته‌ای توسط قرقرهٔ فنرداری کشیده می‌شدند؛ این نوارها پس از گذشتن از برابر عدسی جسمی، روی قرقره پیچیده می‌شدند. طبلکی با ورقهٔ نازک انعطاف‌پذیر، در فواصل ثابتی، در لحظهٔ عکسبرداری، نوار را متوقف می‌ساخت. این باز شدن ناپیوسته، بعدها اصل اساسی طرز کار وسایل عکسبرداری و تصویرافکنی سینما شد.

نخستین دستگاههای سینما: بدون تردید باید گفت که دستگاههای ماره الهام‌بخش همهٔ کارهایی بودند که در سالهای ۱۸۹۰ به راه‌اندازی سینما انجامید. خود آقای ماره تنها به تحلیل حرکات دل‌بسته بود با این‌حال چند نوار کوتاه از «موضوع» تلاطم دریا پس از طوفان و جابه‌جا شدن یک قایق را هم ساخت. گرچه وی امکان نمایش کارهایش را روی پرده پیش‌بینی می‌کرد، اما علاقه‌ای به این کار نداشت و حتی زمانی‌که آقای ژرژ دمنه[3] دستیارش، به وی پیشنهاد استفاده‌های بازرگانی از این‌روشها را کرد از او جدا شد.

وانگهی روشن است که کارهای مایبریج و ماره در سالهای ۱۸۸۰ در مجله ساینتیفیک آمریکن مورد بحث قرار گرفته‌اند و اینکه آقای و. ک. ل. دیکینسون زمانی‌که شروع به‌کار برای ادیسن کرد آنها را خوانده بود. آقای دیکینسون که تقدم اختراع کینتوسکوپ را از خود می‌داند، در ۱۸۸۹ ملاقاتی با آقای ماره داشته است و شخص اخیر نوارهای عکسهای خود را در یک زوئوتروپ (نوعی

1. Muybridge 2. chronophotographe 3. J. Demeny



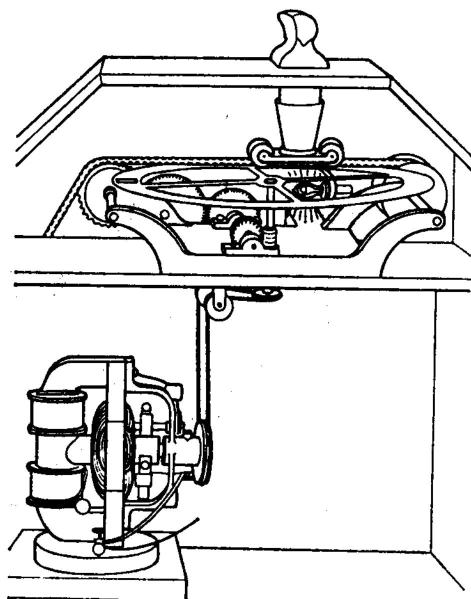
شکل ۴.کرونوفوتوگراف آقای ماره،، با نوار نرم (۱۸۹۰).
نوار بدون سوراخ از قرقرهٔ ۱ باز و روی قرقرهٔ ۲ بسته می‌شود؛ تکانهایی از راه مکانیسم ترمز ۳ آن را متوقف می‌کنند؛ ورقهٔ نرم ۴ بازی لازم برای جلوگیری از پاره شدن نوار را تأمین کرده است.

شهر فرنگ)[1]، به وی نشان داده است. کارهای دیکینسون از ۱۸۸۸ تا ۱۸۹۲ یعنی تا هنگامی ادامه یافت، که کینتوسکوپ وی توسط آقای ادیسن به بازار آمد (شکل ۵). آقای دیکینسون ضمن تحقیقات خود، سیستمهای گوناگون حرکت تناوبی نوار را، به‌توسط ابزار فرار ساعت دنگی، چرخ ژنو (یا صلیب مالت = چرخدنده با دنده‌های مثلثی)، توسط دیسک چاکدار و خار، و نیز وسایل متعدد سوراخ‌کننده‌های نوار، مورد بررسی قرار داد. در مورد نوار، او سوراخهای جانبی و مستطیلی در هر دو حاشیه، و ۳۵ میلیمتر عرض را برای تصویرهای ۱۹ × ۲۵ میلیمتر یعنی اندازه‌ای که هنوز به‌کار می‌رود پذیرفت.

کینتوسکوپ، دستگاهی بود که امکان ژویت تصاویر فیلمی را ممکن ساخت که در یک حلقه بسته می‌شد. بشرط برابر بودن همه‌چیز، کینتوسکوپ می‌توانست رقیب دستگاه فیلمبرداری کینتوگراف شود. نمایشهای کوتاه آن را تنها یک تماشاگر در یک زمان می‌توانست ببیند، و هنوز جز نوعی انتقال مکانیکی بهتر سازمان‌یافته همهٔ آن وسایلی که درگذشته نام آنها رفت، ازجمله پراکسینوسکوپ و زوئوتروپ چیز دیگری نبود.

کینتوسکوپ که در سال ۱۸۹۳ به فرانسه وارد شد لویی لومییر را بر آن داشت که آن را وارد

1. zootrope

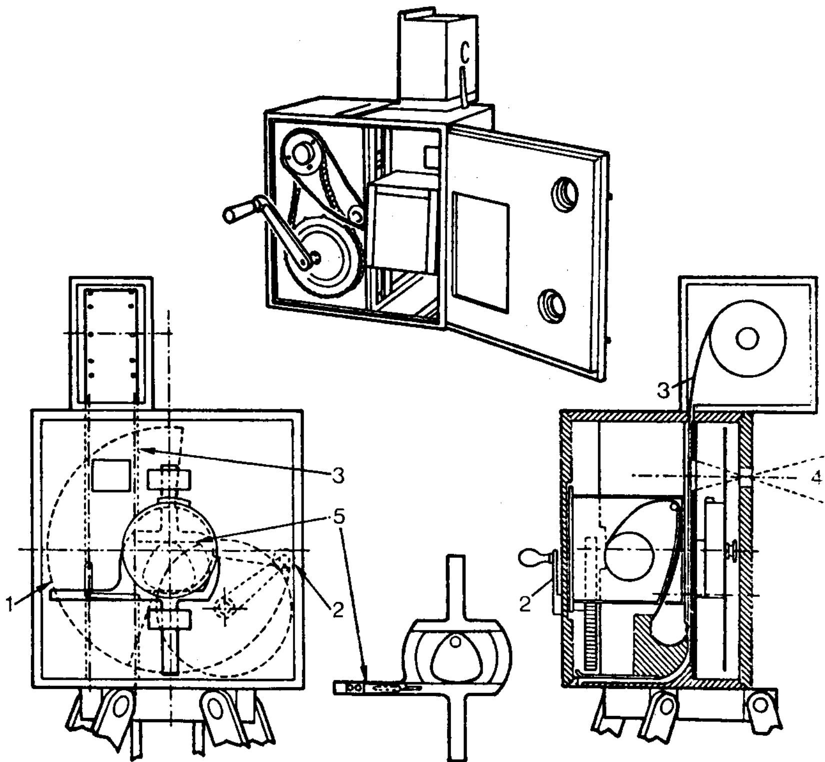


شکل ۵. کینتوسکوپ ادیسن و دیکینسون (۱۸۹۳)
در بالا: منظره‌یاب روزنه‌ای که نوار سوراخداری که یک لامپ از پشت پنجرهٔ یک دیسک پلک‌زن افقی آن را روشن می‌کند، از برابر آن می‌گذرد. این نوار به‌شکل حلقهٔ پیوسته‌ای روی یک ردیف قرقره‌هایی که در پشت موتور و وسایل تنظیم حرکت گذاشته شده‌اند، کشیده می‌شود.

عالم سینما کند. واژهٔ سینما در آغاز سال ۱۸۹۲ توسط آقای لئون بولی[1] یکی از چندین نفرکسانی ساخته شد که در این نوع رشته‌های مکانیسم کار می‌کردند. این اندیشه در واقع در آن زمان «در هوا موج می‌زد» و شخص هوشمندی باید آن را می‌گرفت. آقای لویی لومییر و برادرش اوگوست، که همراه وی در این کار بود کارگاههایی برای ساخت فیلمهای عکاسی داشتند که پدرشان ایجاد کرده بود و طبعاً فیلمهای مورد نیاز در اختیار آنها بود. احتمالاً این تسهیلات به آنان امکان داد که نخستین کسانی باشند که به‌هدف برسند، درحالی‌که دیگران در جا می‌زدند.

برادران لومییر دستگاه بسیار ساده‌ای طرح کردندکه می‌توانست همزمان فیلمبرداری و تصویرافکنی کند (شکل ۶). این دستگاه در آغاز، جعبهٔ بسته‌ای بود و از آن به‌عنوان دوربین فیلمبرداری استفاده

1. L. Bouly



شکل ۶.نخستین دستگاه فیلمبرداری و تصویرافکنی برادران لومییر (۱۸۹۴).

فیلم از جعبهٔ بالا به توسط قاب دو شاخه‌داری که بالا و پایین می‌رود، از مجرای رژه می‌گذرد. سمت چپ: مقطع بزرگترین عرض دستگاه. سمت راست: مقطع کوچکترین عرض دستگاه. ۱. نیمرخ پلک‌زن؛ ۲. دستهٔ گردانیدن فیلم؛ ۳. رژهٔ فیلم؛ ۴. عدسی جسمی فیلمبرداری و تصویرافکنی؛ ۵. بادامکی که جهشهای قاب دو شاخه‌دار حرکت تناوبی فیلم را تأمین می‌کند.

شد. در داخل ان دوربین کار فیلمبرداری با باز شدن حلقه‌ای از فیلمهای حساس انجام می‌شد. *دسته‌ای که به مکانیسم کشش فیلم فرمان می‌داد، پلک‌زن مدوری را که دریچهٔ آن از برابر عدسی جسمی، در لحظهٔ توقف نوار، با آهنگ پانزده بار در ثانیه می‌گذشت، می‌گرداند. تنها ویژگی این* اختراعی که در ۱۳ فوریهٔ ۱۸۹۵ به‌ثبت رسید، مکانیسم کشش و توقف متناوب آن بود. این مکانیسم، قاب چنگال‌داری بود که توسط یک بادامک سه‌گوش در مرکز آن، حرکت متناوب عمودی داشت. ابزاری به‌حالت مایل، در پایین مسیر، چنگالها را، که داخل سوراخهای جانبی فیلم شده‌اند آزاد می‌کند. زمان توقف این فیلم، به‌هنگام بالا بودن دوشاخه است.

به‌هنگام تصویرافکنی، پشت این دستگاه باز می‌ماند و روشنایی یک لامپ قوسی از فیلم می‌گذشت، سپس عدسی، تصویر را روی پرده می‌افکند. نخستین نمایشهای همگانی فیلم با سینمای لومییر که اغلب از آنها سخن می‌رود در شهر لیون در ژوئن ۱۸۹۵ و نمایش ۲۸ دسامبر همان سال درگران کافه پاریس بود که نخستین سانس عمومی و بلیطی سینما در جهان بود.

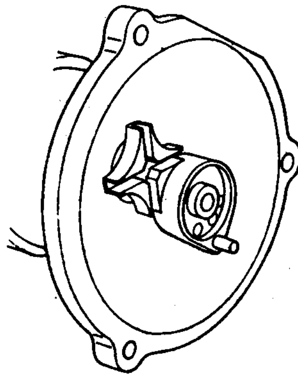
مشکلات مکانیکی: درکار فیلمبرداری، برای داشتن تصویرهای تکی تجزیهٔ حرکتها، جهت نمایش از نظر بازسازی آنها، سینما، بیش‌از هرچیز، وام‌دار تکنیکهای مکانیک دقیق است.

در اثبات این ادعا، می‌توان گفت که پیدایش قطعی سینما اساساً وابستهٔ کاربرد مکانیسم حرکت تناوبی بوسیلهٔ برادران لومییر ـ کاری که هنوز هم به‌عنوان یکی از بهترینهای ممکن، مانده است، و تولید تجارتی آن را به آقای ژول کارپانتیه[1] واگذاشت که در آن زمان در مکانیک دقیق و اپتیک پرآوازه بود.

در واقع، تحقیق سیستمهای حرکت متناوب، هدف ثابت تمام کسانی بود که در راه بازسازی حرکت کار می‌کردند ـ حتی در زمانی‌که این بازسازی، تنها با نقاشیها انجام می‌گرفت.

این پیشگامان به مکانیک ساعت‌سازی و دقیقاً به سیستمی که در حدود ۱۵۰ سال پیش نقش متوقف‌کنندهٔ کوک روی استوانهٔ جای فنر حرکتهای ساعت را داشت روی آوردند. جالب توجه است که سیستم چرخندهٔ ژنو (دارای دنده‌های مثلثی) که برای محدود کردن یک حرکت طراحی شده بود، مبنای سیستم حرکت حلقهٔ فیلم شد. مکانیسم چرخندهٔ ژنو، در ۱۸۸۴ به‌توسط راج در فانوس دارای حلقهٔ دید خود به‌کار گرفته شده بود، اما پس از آنکه آن را روی شورانتوسکوپهای[2] هیوز و مولتنی[3] مونتاژ کردند تقریباً فراموش شد؛ تا اینکه در

1. J. Carpentier 2. chorentoscope 3. Molteni



شکل ۷.مکانیسم چرخدندهٔ ژنو، ساختهٔ کونتینسوزا (Continsouza). (۱۸۹۶).
دستهٔ گردان، قوزکی دارد که در شاخه‌ای از این چرخدنده درگیر می‌شود و پس از گردش ربع دور آزاد می‌گردد.

سال ۱۸۹۶، آقایان بونتسلی[1] و کونتینسوزا[2] آن‌را دوباره به‌کارگرفتند (شکل ۷). این آقایان همچنین توانستند از بعضی ماشینهای حساب که به‌تازگی رایج شده بودند، استفاده کنند.

اما این تحولات در آن زمان، آغاز سریع یک گسترش جهانی بودند، زیرا این مکانیسم عملاً برای همهٔ تصویرافکنهای سینما در همهٔ کشورها به‌کار گرفته شد.

این رواج گرفتن یک وسیلهٔ بسیار استثنایی، هم بدلیل داشتن خصوصیات ساختمانی مورد نیاز یک وسیلهٔ دقیق با تولید انبوه بود و هم به‌علت اینکه در کار سینمایی، این برتری را داشت که زمان خاموشی یا نبودن تصویر را به یک‌چهارم مدت دوره، کاهش داد.

یک اصلاح بعدی، که آن را مکانیسم چلیپایی با پایین آمدن شتاب‌دار نامیدند، ترکیب چرخدندهٔ کلاسیک ژنو با سیستم کشش با برگشت سریع بود که به فرمان بعضی ماشین‌ـ‌ابزارها (اره‌ها، رنده‌ها و غیره) صورت می‌گرفت. زمان خاموشی تصویر به یک ششم، اگر نه یک‌هشتم، مدت دوره کاهش یافت.

همین بررسیها، برای کاهش مدت پایین آمدن فیلم از همان اوایل کار سینما، به‌مکانیسم استفاده از سیستمهای فرمان شیب‌دار کشیده شد. این مکانیسمها که تقریباً بی‌درنگ کنار گذاشته شدند، هفتاد سال بعد با بهره‌گیری از پیشرفتهایی رواج یافتند که چه در رشتهٔ وسایل و چه در تکنیکهای

1. Bunzli 2. Continsouza

تراشکاری به‌دست آمده بود.

تکنیکهای اجرا: دقت لازم در اجرای مکانیسمهای چرخدنده‌های ژنو یا با شیب منضبط را باید در طبلکهای دندانه‌دارکشندهٔ فیلم یافت که این ابزارها را با گردش متناوب می‌کشند. تکمیل تکنیکهای فرزکاری و سنگزنی در بهتر کردن کار تصویرافکنها مؤثر بوده‌اند؛ اینها باید کادرگیری پیاپی تصاویر را با دقتی هرچه بیشتر تأمین کنند، عیب پرش تصاویر نباید از ۰٫۲٪ ارتفاع آنها بیشتر باشد.

اما، چنین دقتی در مرحلهٔ فیلمبرداری، بویژه زمانی‌که از روشهای تروکاژ استفاده می‌شود که هر تصویر انگیزهٔ احساسهای جزیی ترکیب‌یابنده‌ای است، کافی نیست. به‌طوری‌که می‌دانیم، مکانیسمهای دوربین از سیستم کشش با چنگال استفاده می‌کنند که از یک چنگال اصلی فرمان می‌گیرد. در زمان توقف فیلم در موضع ضبط تصویر، تصویر بدین‌ترتیب نسبت به‌سوراخی که چنگال در آن درگیر است، موضع درستی دارد. چنین ابزاری را راهنما یا چنگال اصلی می‌نامند.

این وضع از یکسوی مستلزم این است که سوراخها خودشان باید بسیار دقیق جاسازی شده باشند. مقررات بین‌المللی فیلم ۳۵ میلیمتری، فاصلهٔ میان دو سوراخ متوالی را ۰٫۰۱ ± ۴٫۷۵ میلیمتر ثبت کرده‌اند، و خطای مجاز متراکم در ۱۰۰ فاصله نباید بیش از ۰٫۰۴± میلیمتر باشد. ماشینهای دندانه‌زن فیلم را برپایهٔ اصلی شبیه به اصل مکانیسمهای چنگال اصلی، یک قلم راهنمای مرتبط با قلم برش، که در دندانهٔ بریده شده پیشین قرار می‌گیرد طرحریزی کردند تا ثبات فاصله حفظ شود.

رژهٔ پیوسته: گرچه وسایل حرکت متناوب با چنگال و چنگال اصلی هم روی مدلهای گوناگون ماشینهای کشش هستند، مدلهای دیگر رژهٔ پیوسته را نیز به‌کار می‌برند. فیلم نگاتیف و پوزتیف، در مجاورت یکدیگر، با سرعت ثابتی از برابر نور می‌گذرند. چنین مکانیسمی آشکارا، طرز کار بهتری دارد.

گرچه این رژهٔ پیوسته نخستین کاربرد خود را در لابراتوارهای چاپ داشته است، بعدها در همهٔ سیستمهای ثبت و گذاردن صدا روی فیلم از آن استفاده شد. سرعت ثابت جابه‌جایی فیلم باید با دقت بسیار زیاد تأمین شود. برای این کار، نه‌تنها از سنگزنی و اصلاح همهٔ قطعات گردنده استفاده کردند، بلکه با قرار دادن یک سیستم کنترل مکانیکی، که اساساً از یک فلکهٔ گردان با تعادل دینامیکی و یک فنر آرام‌کننده تشکیل می‌شد، در مسیر فیلم، بدان دست یافتند.

علاوه‌بر تجهیزات اساسی که نام آنها رفت، این مکانیک دقیق یک پهنهٔ وسیع کاربردی هم در ساخت همهٔ وسایل فرعی، نظیر سه‌پایه دوربین (بویژه با سرگردنده)، جراثقالهای سقفی (با فرمان

هیدرولیک)، وسیلهٔ مونتاژ (تدوین فیلم)، میزهای بازبینی و رتوش، و همهٔ تجهیزات فرمان از دور یافته است.

دشواریهای اپتیکی: رشتهٔ سینما در اوایل کار، به‌پذیرش وسایل اپتیکی طراحی‌شده برای رفع نیازهای فیلمبرداری و تصویرافکنی ثابت خرسند بود. دوربینها مجهز به عدسیهای جسمی ناآستیگمات کلاسیک با شکاف کوچک بودند که در فواصل کانونی ۵۰ میلیمتر (میدان معمولی)، ۳۵ میلیمتر (میدان بزرگ) و ۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر (عدسی دور) عمل می‌کردند. روی پروژکتورها، عدسیهای جسمی از نوع پتسوال گذارده می‌شد.

با این‌حال مقتضیات فیلمبرداری سینما ناگزیر از بررسی و آفریدن سیستمهای جدید نوری شد. از یکسو ضرباهنگ ۲۴ متر در ثانیه که در سال ۱۹۲۸ برای فیلمهای ناطق پذیرفته شده بود زمان نمایش تصویر را به ۱/۵۰ ثانیه تقلیل می‌داد، درحالی‌که گردش فیلم در استودیو با روشنایی مصنوعی اجازهٔ تجاوز از سطح روشن‌سازی حدود ۱۰۰۰۰ لوکس[1] را نمی‌دهد، نامیزها هنوز حساسیت بسیار کمی به‌نور داشتند. کاربرد عدسیهای جسمی با شکاف بزرگ ($f/2$ و حتی $f/1,4$) بسیار مبرم می‌نمود.

از سوی دیگر، فاصلهٔ کانونی ۵۰ میلیمتر که معمول بود حتی به‌قاعدهٔ مورد قبول فیلمبرداری تناسبی نداشت ـ قاعده‌ای که طبق آن، فاصلهٔ کانونی باید برابر قطر کادر تصویر ضبط شده باشد. برای تصویری با ابعاد ۲۲ × ۱۶ میلیمتر فیلم، مقداری که از این قاعده به‌دست می‌آید حدود ۳۰ میلیمتر است، بنابراین عدسیهای جسمی با میدان بزرگ باید ۱۵ تا ۲۰ میلیمتر شیب داشته باشند.

وانگهی بزرگ کردن فزاینده‌ای که در تصویرافکنی پذیرفته شده است، مستلزم وضوح زیاد تصویر ضبط شده می‌باشد تا با مقتضیات مشخص شدن تصویر بر پرده بخواند. از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۷۰ میانگین سطح پرده‌های سینما با ضریب ۵ به ۶ افزایش یافته است.

عدسیهای جسمی با قدرت تفکیک بالا، شکاف بزرگ، و در مواردی با زاویهٔ بزرگ میدان، بویژه برای سینما بررسی شده‌اند. فیلمبرداری هم از چنین عدسیهایی در دوربینهای کوچک استفاده کرده است.

عناصر اساسی پیشرفتهای ایجاد شده، تقریباً همزمان ظاهر شدند: ساخت شیشه‌های دارای اندیس بالا؛ آماده‌سازی سطح، کاربرد ماشینهای حساب. همگام با این پیشرفتها، الزامات جدیدی پیش آمدند که بویژه باید از لزوم در اختیار داشتن فرمولهای اپتیک در نقاط گرهی پیش‌افتاده یاد کرد تا سوار کردن عدسیهای جسمی دارای میدان بزرگ روی دوربینهای با منظره‌یاب بازتابی

۱. luxe، روشنایی حاصل از یک شمع در فاصله یک متری.ـم.

امکانپذیر باشد. این امر همچنین مورد تقاضای فرمولهای مربوط به تغییرات پیوستهٔ میدان (با فاصلهٔ کانونی متغیر) یا ۲۰۰ متر است، چه از نظر تحقق احساس اپتیک متحرک، چه از نظر تنظیم آسانتر کادرگیری موردنظر تصویر: عدسیهای جسمی دارای فاصلهٔ کانونی متغیر که اکنون فیلمبرداران در اختیار دارند، می‌توانند بدون تغییر جای دوربین و دهانه نورگیری، میدان را از ۱ به ۱۰ برسانند.

در زمینهٔ میدانهای بزرگ، عدسیهای ویژه با عناصر پیشین واگرا، دراثر سطح کروی خود، ضبط تصاویر را از ۸۰ تا ۱۸۰ درجه ممکن ساخته‌اند.

در زمینهٔ فواصل کانونی طویل، فرمول تله اوبژکتیف گالیله اینک با فرمول عدسیهای جسمی آینه‌ای طبق اصل تلسکوپ کاسگرن[1]، رقابت می‌کرد.

منظره‌یاب: اما بدون حل مشکل منظره‌یابها نمی‌توانستند کاربرد عدسیهای جسمی را در فیلمبرداری بهتر کنند زیرا کادرگیری تصویرها باید در لحظهٔ ضبط آنها معین شود، به‌دنبال منظره‌یابهای خارجی با تصحیح اختلاف منظر و وسایل منظره‌یاب از پشت فیلم یا شیشهٔ مات، در سال ۱۹۵۰ وسایل تصویرگیر بازتابی ساخته شدند که تصویری را که حتی روی فیلم تشکیل شده است به لولهٔ دید منظره‌یاب انتقال می‌دهند. این‌گونه انتقال، برحسب مورد، یا به‌توسط سطح نیم بازتابنده‌ای انجام می‌گیرد که بین عدسی و فیلم گذاشته می‌شود (حتی در خود ساختمان عدسی هم، در فرمولهای فواصل کانونی متغیر گذاشته می‌شود)، یا به کمک دریچهٔ بازتابندهٔ پلک‌زن گردان که نسبت به محور نوری دوربین، ۴۵ درجه مایل باشد.

سینماسکوپ: به‌دنبال ورود اندازه‌های پانو رامایی، عدسیهای جسمی فیلمبرداری مجهز به‌سیستمهای الحاقی آنامورف[2] شدند که تصویر ضبط‌شده را به‌نسبت ۱/۵ یا ۲ از دو طرف فشرده می‌سازد: در طرح این سیستم از عدسیهای استوانه‌ای به‌اصطلاح هیپرگونار[3] (نام تجارتی) استفاده شده است که در سال ۱۹۲۸ آقای هانری کرسین[4] آن را ابداع کرده بود، اما کاربرد آن تا زمان پیدایش سینماسکوپ در ۱۹۵۳ به تعویق افتاد.

اپتیک در آزمایشگاه...: در جنب عملیات فیلمبرداری، سیستمهای اپتیک در جست‌وجوی جایی در بعضی از عملیات آزمایشگاهی بودند و این زمانی بود که چاپ تصویر با تابانیدن تصاویر نگاتیف اصلی انجام می‌گرفت. اینجا محلی برای شمار فراوانی از عملیات تروکاژ (حقه‌های تصویری)

---

1. Cassegrain

۲. Anamorph این سیستم می‌تواند فیلم یا تصویر تغییریافته را با عدسی یا آینهٔ ویژه‌ای به‌صورت عادی نمایش دهد.ـم.

3. hypergonar   4. Henri Chre'tien

بود؛ و نیز زمانی برای تهیهٔ نسخه‌هایی در قطع‌های کوچک شده (۱۶ میلیمتر یا ۸ میلیمتر) از فیلمهای اصلی ۳۵ میلیمتری، که سیستمهای اپتیک ویژه‌ای، به‌طور همزمان دو یا چهار تصویر کوچک شده را روی یک فیلم پوزتیف خاص اثر می‌دادند، و پس از ظهور آنها را از یکدیگر جدا می‌ساختند.

... و در مرحلهٔ نمایش: رشتهٔ اپتیک آخرین نقش خود را در مرحلهٔ تصویرافکنی داشت. در اینجا درهم‌کاری با سیستم کندانسور، خود را نشان می‌داد که شارهٔ نوری را روی فیلم و عدسی ایجادکنندهٔ تصویر بزرگ‌شده روی پرده، متمرکز می‌کرد.

سیستم کندانسور، برحسب مورد، یا یک آینهٔ بیضوی است، یا یک چاره‌کاری دیوپتریک، که برای آنها می‌بایست هم راهی برای ربایش پرتوهای منبع نوری در بزرگترین زاویهٔ ممکن یافت و هم برای برابر کردن اعوجاج پرتوها در همهٔ سطح تصاویر و حذف تا حد ممکن کامل پرتوهای زیر قرمز چاره‌جویی کرد.

برحسب نوع منابع نوری، جست‌وجو برای یک دهانهٔ بزرگ، از یکسوی به‌کاربرد آینه‌های بیضوی برای لامپهای قوسی با d/F برابر ۱/۲ انجامید، و از سوی دیگر به استفاده از آینه‌هایی شامل لامپهای الکترونی خلأیی و لامپهای روشنایی معمولی، و بالاخره به عدسیهای با سطح آسفریک[۱] کشیده شد.

برای دستیابی به برابری توزیع، مشخصات شکل آینه‌ها و عدسیها را حک و اصلاح می‌کردند، تا اینکه با مونتاژ کندانسور- رله راه‌حل بهتری به‌دست آمد.

کاهش آثار حرارتی زمانی عملی شد که توانستند از پوششهای دارای لایه‌های نازک تداخلی استفاده کنند؛ فیلترهایی که پوشش آنها نور ریز قرمز را بازتاب، و نور مریی را از خود عبور می‌داد؛ یا از پوشش با آینه‌های به‌اصطلاح سرد استفاده می‌شد که نور مریی را منعکس می‌کرد، و اجازه می‌داد نور زیر قرمز از آن عبور کند.

دربارهٔ عدسیهای جسمی، می‌توان گفت که دقیقاً آثار حرارتی سبب شدند که فرمول پتسوال برای عدسیهایی که پشتشان را با چسب نپوشانیده‌اند به‌کار گرفته شود: پیشرفتهایی که در چسبانیدن شیشه‌ها و نیز کاهش پرتوهای زیر قرمز پدید آمد امکان می‌دهند که اکنون از فرمولهای بسیار شبیه فرمولهایی که در فیلمبرداری به‌کار گرفته می‌شوند استفاده شود و تصاویر دارای کیفیت بهتر داشته باشند. در عدسیهای جسمی معمولی که حدود فواصل اصل کانونی آنها عملاً از ۴۰ تا ۲۰۰ میلیمتر است باید سیستمهای آناامورف‌کننده به آنها افزوده شود، این کار یا با عدسی استوانه‌ای، یا

۱. کمی ناکروی، برای اینکه از ابیراهیها اندکی کاسته شود.ـم.

با منشور انجام می‌گیرد و نسبتهای معمول را به تصاویر فیلمهای پانورامایی، که انقباض جانبی با نسبت ۲ دارند، برمی‌گرداند. بالاخره روش عدسیهای جسمی با فاصلهٔ کانونی متغیر در حال حاضر، در تصویرافکنهای فیلمهای کوچک ویژهٔ آماتورها، بدلیل انطباق راحت‌تر این مقطع با اندازهٔ پرده، کاربرد فراوان دارد.

پردهٔ سینما ممکن است، تا حدودی، به‌عنوان آخرین بخش نوری تجهیزات به‌شمار آید، زیرا به‌طور روزافزونی از پرده‌های بازتابنده‌ای استفاده می‌شود که نور را تنها در فضای مفید اشغال شده توسط تماشاگران، پخش می‌کند. این پرده‌ها در کاملترین شکل خود، مجموعه‌ای از نوعی قطعات آینه‌ای با خمیدگی و ابعاد و زاویهٔ بازتابش معین هستند.

همچنین پرده‌های شفافی ساخته‌اند که زاویهٔ مفید دید را می‌تواند تا مقدار قابل توجهی افزایش دهد. بدین‌منظور یا این پرده‌ها را از ماده‌ای با قدرت پخش زیاد می‌سازند، یا از روش عدسی با مقیاس فرنل استفاده می‌کنند ـ مقیاسی که در آن زمان با ابعاد بسیار کوچک ساخته شده بود.

پرده‌های شفاف در فیلمبرداری در بخش تروکاژ، که ناظر به شفافیت آن بود اهمیت یافت. این نوع پرده، به‌همین نام در سال ۱۹۲۸ بوسیله لوپریور[1] اختراع و ساخته شد.

منابع نور: کار فیلمبرداری، چاپ نسخه‌ها یا تصویرافکنی هر طور انجام گیرد، سینما نیازی همیشگی به منابع نوری هرچه کاملتر یا قویتر هر دوره را دارد.

از همان اوایل کار، لزوم اثرگذاری بر یک فیلم نگاتیف، که حساسیت آن‌هم ضعیف و هم در بخش آبی ـ بنفش طیف محدود است، سبب شد که در استودیوی فیلمبرداری، یا لامپهای بخار جیوه‌ای، مجتمع در قابهایی را دخالت دهند، یا لامپهای قوسی آینه‌دار را. گرچه لامپهای بخار جیوه‌ای بتدریج از صحنه خارج شدند، لامپهای قوسی بر اثر پیشرفتهایی که با زغالهای هسته‌دار[2] و استفاده از پدیده بک[3] (قوس شدید) به‌دست آمد، مقام برتر را به‌دست آورد. بدین ترتیب فراتر از قوسهای ۱۲۰ و ۲۵۰ آمپر، توانستند از قوس ۴۰۰ آمپر برای ایجاد روشنایی در بعضی از صحنه‌ها استفاده کنند.

کاربرد لامپهای قوسی، با پیدایش سینمای ناطق در ۱۹۲۸ـ۱۹۳۰، به‌علت پارازیتهای ناشی از سوت‌زنی قوس، روبه‌کاهش گذاشت. مقابلهٔ با آن را، پس از اندک مدتی، در فیلترکردن نوسانات جریان مستقیم مورد استفاده، یافتند.

---

1. Le Prieur

۲. زغالی که مجرایی در محور خود دارد که با مخلوطی از کربن و مادهٔ ویژه‌ای پر شده است.ـم.

3. Beck

اما روشن است که در همین زمان فیلمهای حساس به‌همهٔ رنگها (پان کروماتیک) اختراع شد. حساسیت این نوع فیلم در ناحیهٔ قرمز طیف به پیشرفت تصویرافکنهای مجهز به لامپهای معمولی روشنایی کمک کرد، به‌طوری‌که ساخت مدلهای بسیار پرتوان، در ردیف کیلووات آغاز شد.

تصویرافکنهای با لامپ روشنایی و با لامپ قوسی در مدتی از ۱۹۳۰ تا ۱۹۶۰ با هم مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در این زمان، رواج فیلمبرداری رنگی با فیلمهای تک لایه (مونوپاک)[1] که در دمای رنگ ۳۲۰۰ $^{\circ}$K متعادل شده‌اند را می‌توان نقطهٔ آغازی برای تحول جدیدی به نفع کاربرد تصویرافکنهای با لامپ روشنایی دانست، زیرا صنعت مدلهایی از آن را تولید می‌کرد که توان آنها به ۵ و ۱۰ کیلووات می‌رسید. دخالت دادن تکنیک چرخه ید، مقام برتر لامپهای روشنایی را بر اثر کاهش ابعاد افروزه‌ها و حبابها، بازهم اعتلا داد.

با این‌حال، لامپ روشنایی با رقیبی از لامپهای خلأیی (لامپهای گزنون یا تری‌یدورها) روبه‌رو شد که بازدهٔ کاری آنها، اگر نگوییم سه، دو برابر است و بنابراین، امتیاز آشکاری برای تصویرافکنهای پرتوان دارد. لامپهای روشنایی با چرخهٔ ید، در عوض، امتیازات خود را در زمینهٔ سهولت کاربرد در رشتهٔ نورهای سیار (فیلمبرداری از وقایع یا از صحنه‌های خارجی) نشان دادند.

ما با کاربرد لامپهای روشنایی در مرحلهٔ تکثیر نسخه‌ها در آزمایشگاه، و نیز در زمینهٔ تصویرافکنی قطع کوچک (آماتورها و دیداری ـ شنیداری) آشنا هستیم.

برعکس، لامپهای قوسی برای نورافکنی در تئاترها، بسیار مناسب بوده و هستند، اما بدلیل افزایش ابعاد پرده، نیاز به نورهای بیش‌از پیش توانمند و کامل‌تر احساس شد. این لامپها مجهز به‌سیستمهای تنظیم خودکار بودند تا از یکسو درکانون آینه کندانسور، تو رفتگی و کاسی حفظ شود، و از سوی دیگر فاصلهٔ ثابت زغالها برحسب طرزکار باقی بماند. فانوسهای بسیار توانمند اکنون با ۱۵۰ آمپرکار می‌کنند و از وسیلهٔ دمش هوا در پیرامون زغال مثبت (سیستم روکار)[2] بهره می‌گیرند که درخشش تورفتگی را زیادتر و یکسان می‌کند.

از چنین فانوسهایی بویژه برای تصویرافکنی روی پرده‌های ۳۰ تا ۵۰ متری، ویژهٔ سینماهای فضای آزاد و قابل استفاده برای سرنشینان اتومبیلها استفاده می‌شود.

با این‌حال حتی در این زمینه هم، رقابت شدیدی با لامپهای تخلیه‌ای، بویژه گزنونی، که از آن لامپهای حتی با توان ۶ کیلووات هم می‌ساختند، بزودی درگرفت. فقدان هرگونه سیستم تنظیم و پیوستگی کار، که با لامپهای قوسی، به‌علت فرسایش زغالها جور در نمی‌آمدند، انگیزهٔ تعویض تدریجی لامپهای قوسی با لامپهای تخلیه‌ای، در تجهیزات نورافکنی صحنه‌های با ابعاد متوسط

1. monopack 2. Rocard

تئاترها شد. پیدایش لامپهای تخلیه‌ای از نوع تری‌یدور این تحول را دامن زد و کاربرد لامپهای قوسی، تنها به تصویرافکنی بر روی پرده‌های بسیار عریض، محدود شد.

خودکاری در آزمایشگاه: سینما از همان اوایل کار به تکنیکهای خودکار کردن بخش بسیار صنعتی‌شدهٔ خود، یعنی لابراتوار ظهور و چاپ روی آورد در مورد ظهور فیلم باید گفت که الزامات حساسیتی، ناگزیر می‌ساخت که قدرت واکنشدهی دوای ظهور و دمای آن ثابت بماند. دستگاههای ظهور به وسایلی مجهز شدند که نوسازی منظم حمامها را تأمین می‌کردند و سیستمهای دماپای به چنان دقتی دست یافته بودند که دما را در حاشیهٔ ۰٫۲± درجه دمای مورد نیاز حمامهای ظهور فیلمهای رنگی، ثابت می‌داشتند.

در مورد چاپ می‌توان اشاره کرد که جبران تغییرات چگالی پلان (شات، نما) های متوالی نگاتیف، مقتضی تغییر دادن شدت نور در چاپ، طبق برنامه‌ای است که متناسب با قواعد مقرر، تنظیم شده است. این کار با استفاده از سیستم نوارهای مقوایی، که در تکنیکهای دیگری به‌کار گرفته می‌شد آغاز گردید. سوراخهای مقوا، در عبور از زیر یک مکانیسم کنتاکت: شدت لامپ چاپ را تغییر می‌دادند. بعدها به‌جای مقواهای سوراخدار، فیلم ۳۵ میلیمتری با یک سیستم دندانه‌زنی پیشرفته به‌کار گرفته شد. سپس این سیستم جای خود را به نوار کاغذی سوراخدار واگذاشت، این نوار، برای خودکار شدن صنعتی، با ابزار قرائت از نوع برقی ـ نوری استاندارد شده بود و سرعت بسیار زیاد تغییردهی نور را تأمین می‌کرد.

خودکاری در فیلمبرداری و نمایش: در زمینه‌های دیگر فیلمبرداری و نمایش فیلم، دخالت‌دادن خودکاری بسیار دیر انجام گرفت و جالب است بدانیم این کار، پیش از آنکه در سینمای حرفه‌ای انجام گیرد در سینمای آماتوری عملی شد.

در مورد فیلمبرداری، پیدایش پیلهای نور ـ برقی مجاورتی[1] که در ساخت نخستین نورسنجها به‌کارگرفته شدند، که امکان ساخت سیستمهای تنظیم خودکار مدت نوردهی: تجهیزات گالوانومتری اندازه‌گیری این مدت، در آن زمان برای گردانیدن مجموعه‌ای از دو عدسی هلالی شکل تشکیل‌دهندهٔ یک دیافراگم چشم‌گربه‌ای، به‌کار گرفته شد. این سیستمها که نخست ضمیمهٔ دستگاه می‌شدند بتدریج جزء بدنهٔ خود دوربینهای کوچک شدند به‌طوری‌که اکنون تقریباً در همهٔ دوربینها به‌کار گرفته می‌شوند، پیلهای نور رسانا بر پیلهای نور ـ برق مجاورتی ارجحیت یافتند.

در برنامه‌های حرفه‌ای، دوربینهای تلویزیون، بر اثر تجهیزات الکترونیک خود که در آن زمان سنگین بودند، نخستین دستگاههایی بودند که نه‌تنها خودکاری مدت نوردهی، بلکه همچنین اصلاح

1. Photovoltaic Cell

از دور و تغییرات کانونی عدسیهای جسمی «۲۰۰m» را به‌دست آوردند. این پیشرفتها که با مدارهای فرمان گیرنده با وا خوراند منفی پدید آمدند، تنظیم نرم و نیز دقیق دستگاه را تأمین کردند. بعضی از دوربینهای حرفه‌ای فیلمبرداری بعدها از همین راه‌حل استفاده کردند.

تنظیم خودکار هنوز باید اجرا می‌شد. این کار در واقع عمل بسیار پیچیده‌ای بود، نه تنها فی‌نفسه، بلکه همچنین به‌علت گزینش عناصری از تصویر، که تنظیم جا، روی آنها باید انجام می‌شد. با محدود کردن این مشکل به تنظیم روی مراکز تصویر، سیستمی ساخته شد که توسط پرتوهای زیر قرمز کار می‌کرد.

همچنین مشکل اصلاح خودکار عدم وضوح تصویر را، که به‌علت لرزشهای اتفاقی دوربین ایجاد می‌شد توانستند برطرف سازند. این کار به‌کمک منشور مایعی حاصل می‌شد که زاویهٔ متغیر آن از پهلو و از قائم فرمان می‌گرفت.

خودکاری همچنین در تصویرافکنی هم به‌کار گرفته شد، مسألهٔ اساسی در اینجا، مرتبط بودن قرقره‌های پشت سر همی است که نسخهٔ نهایی را تهیه می‌کنند. عمل خودکاری در اینجا با علامتی که در پایان قرقره با نور، برق یا مغناطیس صادر می‌شود آغاز می‌گردد.

نوعی خودکاری سکانسی (فصلی) پیچیده‌تر، پس از اینکه فانوسهای نورافکنهای مجهز به لامپهای تخلیه‌ای (بویژه گزنون) توانستند سرویس دائمی بدهند، به‌کار گرفته شد. یک تابلوی فرمان با کنترل‌کنندهٔ برنامه، مجموعهٔ عملیات یک سآنس را به‌طور خودکار اجرا می‌کنند: وارد کردن موسیقی در آن، تاریک کردن سالن، باز کردن پرده‌ها، راه انداختن تصویرافکن، به‌هم مرتبط کردن قرقره‌ها و روشن کردن مجدد سالن در پایان فیلم. چنین مجموعه‌ای با امکان تنظیم از دور، از سالن تنظیم جای تصویر بر پرده، و نیز شدت بازسازی صدا، تکمیل شده است؛

خودکاری تصویرافکنی با سیستمهای تصویرافکنی چندگانه که افه‌های حرکت و تغییر بزرگی تصویر را ایجاد می‌کنند، کاربرد وسیعتری یافت.

ضبط و پخش صدا

ریشه‌های تکنیکهای ضبط و پخش صدا با وسایل مکانیکی، با استفاده از پایه‌ای که روی آن ثبت شود، هم بسیار شناخته شده هستند و هم اینکه اگر در دنبال هر اختراعی بخواهیم مخترع آن را نام ببریم تا اندازه‌ای ابهام وجود دارد.

ضبط دستی: فونوگراف (گرامافون) نتیجهٔ مستقیم جعبهٔ موزیک با استوانه‌های مجهز به سوزنها و شانه‌های فلزی یا با مقواهای سوراخدار است که در مجلد سوم (صفحهٔ۲۶۶) آن را مورد بحث قرار دادیم، که از موفقیتهای اواخر سدهٔ نوزدهم بود. حتی شکل اسناد ثبت‌شدهٔ آن، که از سده‌های پیش، استوانه‌ای بود، در اوایل سالهای ۱۸۸۰ به دیسک سوراخدار تبدیل شد. مشکلات مربوط به مکانیک ساده از قبیل به گردش درآوردن پیوسته و منظم پایهٔ ضبط صدا بوسیلهٔ یک موتور فنری یا وزنه‌ای و یک ناظم اینرسی حل شدند. این وسایل به‌شکل فونوگرامها و گرامافونهای اولیه به بازار فرستاده شدند.

در همهٔ این سیستمها، کار ضبط صدا، طبق قواعدی که از اواسط سدهٔ هجدهم شناخته شده بود، با دست انجام می‌گرفت. بدین‌ترتیب، امکانات ضبط صداها، محدود به بازسازی آهنگهای بسیار سادهٔ موسیقی بود. آواز پرندگان را نیز می‌توانستند روی نیمرخهای بادامکی، که حرکت اهرمهایی را تنظیم می‌کردند با دست ضبط کنند، و بدین‌ترتیب این آوازها با یک سوت دارای پیستون متحرک، بازسازی می‌شد. همهٔ آهنگهای ضبط‌شده کوتاه بودند و هیچ وسیله‌ای برای ضبط گفتار و پخش مکانیکی آن وجود نداشت.

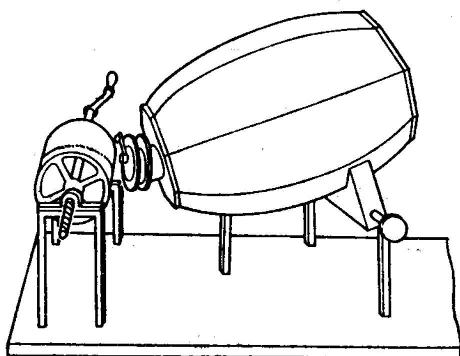
تکمیل جعبهٔ موزیک بویژه ارزش سرگرمی داشت، و جمعیتها یا محافل خانوادگی این وسایل مکانیکی را تهیه می‌کردند. می‌توان گفت که برای آن بازاری به‌وجود آمد.

ضبط خطی: اما همین اطلاعات بسیار پراکنده از پیشرفت در این زمینه، انگیزهٔ اختراع فونوگراف شدند؛ که مؤثرترین آنها، اطلاعات آکوستیکی و بویژه بررسی ارتعاشات صوتی و ضبط خطی آنها بود.

در سال ۱۸۰۷ آقای تامس یانگ[1] انگلیسی، سیستمی برای ضبط حرکات یک جسم صوتی مرتعش طرح کرد. نوکهای یک قلم‌مو که به‌حرکت ارتعاشی متصل بودند، روی استوانه گردنده‌ای که سطح آن با دوده اندود شده بود متناسب با آن حرکات ارتعاشی، خطوطی رسم می‌کرد، بررسی ارتعاشات صدا، موجب تکمیل وسایل مشاهدهٔ آنها، از طریق تقویت و ضبط آثار آنها شد.

حدود سال ۱۸۶۲ بود که آقای رودلف کونیک آلمانی با استفاده از همنواگر (رزوناتور) هموطن خود، آقای هلمهولتس، که در همان زمان دربارهٔ اکوستیک تحقیق می‌کرد، وسیله‌ای ساخت که تجسم ارتعاشات صوتی مربوط به تغییرات ارتفاع یک شعله را، توسط یک کپسول هوا امکانپذیر کرد. این وسیله را فیزیکدانانی که در این رشته کار می‌کردند، در همه کشورها مورد استفاده قرار دادند. در همین زمان بود که آقای ماره کپسول مانومتری خود را، که یک قلم فولادی را حرکت

1. Th. Young

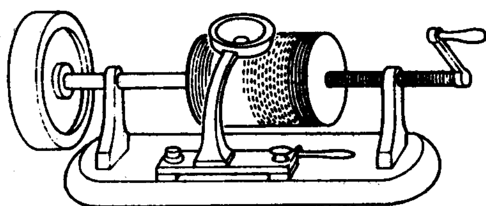


شکل ۸. فونوتوگراف لئون اسکات (L. Scott)

می‌داد اختراع کرد؛ این قلم پدیده‌های گوناگون فیزیولوژیکی تحت مطالعه وی را با رسم خطوطی ثبت می‌کرد.

در سال ۱۸۵۷ آماتور منفردی یک وسیلهٔ دائمی ضبط خطی گفتار را اختراع کرد. از این مخترع که لئون اسکات[1] نام داشت، جز این چیزی نمی‌دانیم که وی کارگر چاپخانه بود و از یک خانوادهٔ فرانسوی مستقر در محل کوچکی به نام مارتینویل[2]. دستگاه وی (شکل ۸). از یک کپسول هوایی با دیافراگم مرتعش تشکیل می‌شد که در مرکز دیافراگم یک قلم ضبط‌کننده، نصب شده بود. یک شیپور بزرگ کاغذی روی آن گذاشته شده بود و زمانی‌که دربرابر دریچهٔ آن سخن گفته می‌شد، این قلم فلزی، به همان طرز روش یانگ، آن را ضبط می‌کرد. این دستگاه دو سال بعد ساخته شد و در آکادمی علوم فرانسه با نام فونوتوگراف[3] به نمایش گذاشته شد. می‌توان دقیقاً ادعا کرد که همین دستگاه بود که پایهٔ اختراع فونوگراف در بیست سال بعد شد. همهٔ کتابهای رشتهٔ فیزیک این شرح آمده است و در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی فونتیک تا زمان پیدایش (نوسان‌نگار) از این دستگاه استفاده می‌شد. گرچه فونوتوگراف برای فیزیکدانان وسیلهٔ بسیار آشنایی بود، مخترع آن را مردم و نیز محافل علمی نمی‌شناختند. این دستگاه از بازسازی صداها ناتوان بود، اما این مرحله، لااقل از نظر تئوری، پایگاهی برای آن به‌شمار می‌آید. تنها کافی است که روی استوانهٔ ضبط‌کننده به‌جای دوده از یک ماده نرم استفاده شود تا قلم فلزی بتواند در زمان ضبط صدا در آن فرو رود، سپس برای بازسازی گفتار، از همین شیارها استفاده شود.

1. Le'on Scott 2. Martinville 3. Phonautographe



شکل ۹.نخستین فونوگراف ادیسن

اختراع فونوگراف: این مرحله به‌توسط تامس ادیسن در سالهای ۱۸۷۷ پشت سر گذاشته شد. شرح این اختراع را آقای ماتیو جوزف‌سون کاملاً آورده است. ادیسن نوعی سیستم ضبط و نشر علایم تلگراف مورس را مطالعه می‌کرد و در چنین موقعیتی به نوعی وسیلهٔ ضبط یک مکالمهٔ تلفنی می‌اندیشید تا بتوان آن را از نو شنید یا انتقال داد. در ماه ژوئیه همین سال وی اعلام کرد که می‌تواند صدای انسان را بازسازی کند. در ماه اوت همین سال وی واژهٔ «فونوگراف» را آورده است. این شرح را برای این آوردیم تا معلوم شود که بکلی غیرمنطقی است که اختراع فونوگراف را به شارل کرو و اختراع این واژه را به لنوار کشیش نسبت دهیم ـ ادعایی که کتابهای عامیانهٔ فرانسه مرتباً تکرار می‌کنند. آقا شارل کرو که عاری از اطلاعات علمی نبود، اصول ساخت این وسیله را، که وی آن را «پالئوگراف»[1] می‌نامید، جوف پاکتی، در آوریل ۱۸۷۷ به آکادمی علوم ارسال داشت، اما این پاکت در سه دسامبر باز و قرائت شد. مقالهٔ لنوار کشیش که در آن واژهٔ فونوگراف آمده است در اکتبر ۱۸۷۷ چاپ شد. گرچه ادیسن اختراع خود را در ۱۹ دسامبر همان سال به‌ثبت رسانید، یادداشتهای دفترچهٔ آزمایشگاه وی شخص را مطمئن می‌سازد که وی به‌هیچ وجه تحت تأثیر نوشته‌هایی که بدون هرگونه تکیه‌گاه تجربی بودند، نبوده است. یک گواهی‌نامه الحاقی به تاریخ ۱۵ ژانویهٔ ۱۸۷۸ توصیفی از این وسیله با نام فونوگراف داده است. ادیسن مواد گوناگون نرمی، از جمله موم را آزمایش کرد، اما نخست ورقهای نازک فلز روی را به‌کار گرفت. استوانه‌ای که حامل آن بود توسط دسته‌ای گردانیده می‌شد، این دسته، ضمناً به‌کمک یک میلهٔ دنده‌دار، استوانه را در طول محور خود جابه‌جا می‌کرد (شکل ۹). با استفاده از دیافراگمی که در وسطش یک قلم فلزی کوچک بود، ضبط صدا به‌شکل شیار کم و بیش عمیق و مارپیچی روی ورق روی که دور سیلندر پیچیده شده بود، انجام می‌گرفت. همین وسیله نوعی بازسازی، بازهم بسیار ناقص، گفتار ضبط‌شده را تأمین می‌کرد.

1. Pale'ographe

در این زمان، این وسیله در شکل بسیار ابتدائی خود، توجه کمی را به خود جلب کرد. آقای ادیسن برای شناسانیدن و عرضه کردن آن در مارس ۱۸۷۸ در آکادمی علوم همت گماشت. در اینجاست که قضیهٔ مشهور آکادمیسین ژان بویو[1]، پزشکی ۸۲ ساله اتفاق می‌افتد که حقه‌بازی کسی را که از شکم صدا درمی‌آورد رسوا می‌کند. خود ادیسن کاملاً غرق کارهای فروش روشنایی برق بود و ده سال بعد توانست به فروش چنین وسیله‌ای بیاندیشد.

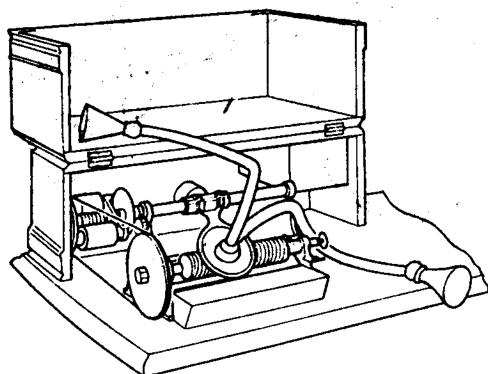
در این فاصلهٔ زمانی تکمیل و کاراندازی فونوگراف را الکساندر گراهام‌بل، بویژه دو همکار وی آقایان کریستر. ا. بل (پسر عمویش) و چارلز سامز ـ تینتر سازندهٔ ابزارهای علمی به‌عهده داشتند. علاقهٔ گراهام‌بل به فونوگراف ادیسن، طبعاً از کارهای قبلی وی سرچشمه می‌گرفت که از حل مسألهٔ کرولالها، در سال ۱۸۷۶ به ساخت نخستین سیستم تلفن الکتریکی کشیده شد. وانگهی گراهام‌بل در ۱۸۷۹ با دختر رئیس شرکتی که ادیسن برای استفاده از فونوگراف خود تشکیل داد؛ ازدواج کرده بود.

آقای هابرد[2]، رئیس شرکت، برای تبلیغ محصولات شرکت، به بل پیشنهاد کرد که اختراع، هنوز ابتدائی، ادیسن را تکمیل کند. گراهام‌بل از فرانسه به دریافت جایزهٔ ولتا، که مبلغ آن پنجاه هزار فرانک طلا بود، مفتخر شد، و بدین‌ترتیب توانست یک آزمایشگاه خصوصی: **Volta Laboratory Association** در واشنگتن برپا دارد. نخستین کارهای این شرکت دربارهٔ انتقال صوت توسط نور بود که در ۱۸۸۱ به ساخت فوتوفون[3] با سلول سلنیم انجامید.

کارهای بعدی آن را آقایان تینتر و. ا. بل انجام دادند، و آنان بودند که در سال ۱۸۸۶ رقیب فونوگراف را به نام گرافوفون[4] به‌نمایش گذارند (شکل ۱۰). هر دو همکار با کمک یکدیگر توانستند مسائل گوناگونی را که ادیسن با آنها برخورد کرده بود، حل کنند. آنان به‌جای استوانهٔ قلعی از استوانهٔ مقوایی با روکش مومی، یا مخلوطی از موم و پارافین، استفاده کردند. آنان بویژه «گیرنده» یعنی قسمت ضبط را که شامل غشائی از میکا در زیر صفحهٔ سوراخدار، و مخروطی در دهانهٔ لوله آکوستیک ـ برای تأمین توزیع بهتر صدا ـ بود، مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱۱). این غشا روی سطح دیگر خود، حامل قلم فلزی بود که موم را خط می‌انداخت. این قطعه، علاوه‌براین، تیغهٔ کوچکی در جلو قلم داشت. تا سطح استوانه را در زمان ضبط، پرداخته‌تر و استوانه‌ایتر کند.

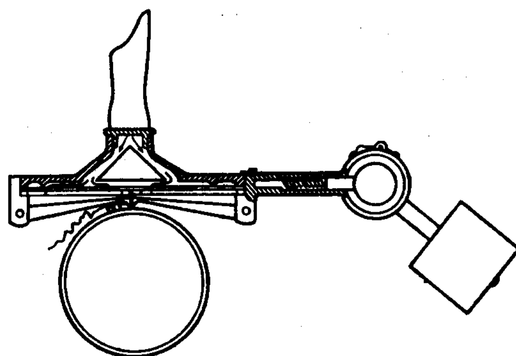
مجموعهٔ این دستگاه با لولهٔ ضبط صوت، روی سطح یک ناودانی دارای دنده‌های داخلی سوار شده است تا جابه‌جا شدن جانبی آن روی یک پیچ بی‌انتها، مقابل استوانه، که بدین‌ترتیب تنها یک حرکت گردشی دارد، تأمین شود؛ یک وزنهٔ تعادل، مقدار فشار سوزن را روی موم تنظیم

1. J. Bouillaud 2. Hubbard 3. photophone 4. graphophone

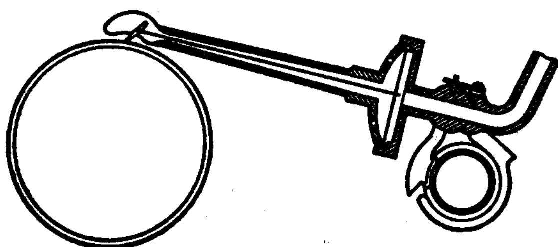


شکل ۱۰.گرافوفون آقایان تینتر و گ. ا.بل.

می‌کند. بلندگوی یک ساختار متفاوت با گوشی دارد تا کیفیت شنود بهتر گردد (شکل ۱۲). شنیدن با کمک دو گوشی که در انتهای لوله‌های صوت قرار گرفته‌اند انجام می‌شود. سرانجام، مجموعهٔ دستگاه توسط پدال چرخ خیاطی با یک ناظم ماند (اینرسی) روی محور کشش حرکت می‌کند. آقایان تینتر و گ.ا. بل همچنین وسیله‌ای برای تکثیر استوانه طرح کردند که از آن استقبال نشد، زیرا از روش گالوانوپلاستی که رواج کامل یافته بود استفاده شد.



شکل ۱۱.قسمت ضبط گرافوفون.



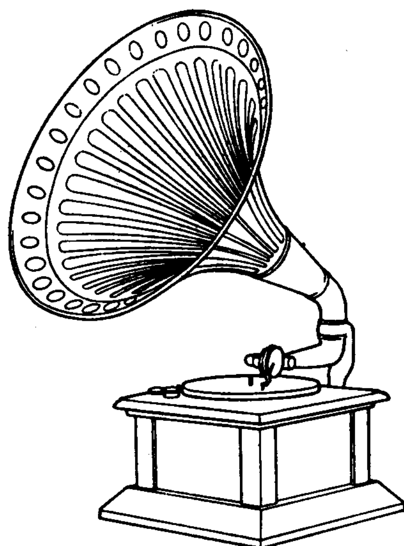
شکل ۱۲ .بلندگوی گرافوفون.

ادیسن عقب‌افتادگی خود را بسرعت جبران کرد و هر دو وسیله تقریباً در یک زمان، بویژه به‌مناسبت نمایشگاه ۱۸۸۸ لندن و ۱۸۸۹ پاریس به‌معرض خرید گذاشته شدند. هر دو دستگاه با داشتن چند ساختار مشابه، مبانی، کیفیات و نواقص یکسانی داشتند. اصلاحات بعدی آنها شامل چند فوت و فن مکانیکی و مهارتهایی در ساخت قطعات گوناگون آن می‌شد. ادیسن از یک موتور الکتریکی استفاده کرد که پیلهایی آن را تغذیه می‌کردند، اما دستگاه وی به‌علت حجم زیاد، مورد استقبال قرار نگرفت.

دیافراگم، بازو، ناظم سرعت، شیپور و بالاخره جعبه و ساخت کلی آن بمنظور ساده‌تر شدن، تغییرات گوناگونی را تحمل کردند؛ کیفیات دستگاه و زیبایی آن با ملاکهای روز، بهتر شد (شکل ۱۳).

پیدایش دیسک: پایه‌ای که صدا روی آن ضبط می‌شد، همان استوانهٔ مومی بود ک غالباً مواد دیگری به آن می‌افزودند و تولید صنعتی آن نخست با روشهای مکانیکی بود که پس از مدتی، گالوانوپلاستی جای آن را گرفت. در روش اخیر، یک نقش نگاتیف گرفته می‌شد و به‌توسط آن، شیارهای اولیه را به‌طور سری در تعداد زیادی از استوانه‌ها، برای فروش، انتقال می‌دادند. این روش بعدها، زمانی‌که کاربرد دیسکها به‌میان آمد، بدون تغییر بنیادی، دستکاری شد.

آقایان ادیسن و سامز تینتر، از همان اوایل کار، با دیسکهای مسطحی، از همان مواد استوانه‌ای، آزمایشهایی کردند. این دیسکها، بیش‌از بیست سال تقریباً تنها پایه برای ضبط صدا بودند. دیسکها، نواقص گوناگونی داشتند، بویژه آنکه سرعت خطی شیارها، در حاشیهٔ دیسک با اواسط آن تغییر می‌کرد، و نیز وضع سوزن دیافراگم نسبت به شیار خوب نبود، زیرا بازوی دیافراگم سطح دیسک را جاروب می‌کرد و نسبت به مارپیچ شیار، همیشه مماس نبود.

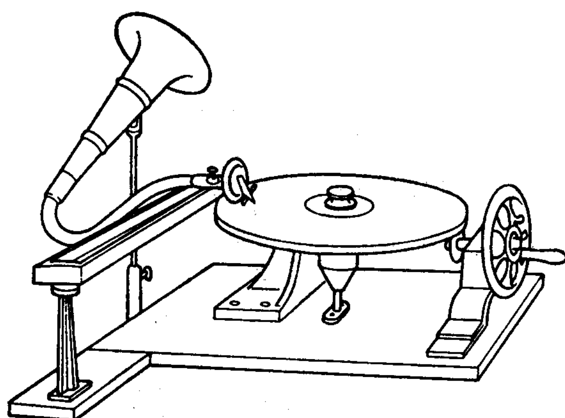


شکل ۱۳.فونوگراف پرقدرت، با دیسک و دیافراگم سوزندار (۱۹۰۰ـ۱۹۱۰).

مشکلی که بزودی برطرف شد، سوزن دیافراگم بود. حدود ۱۹۰۰، سوزن فلزی رفته رفته جای خود را به سوزن از یاقوت پخت‌شده داد که برای خواندن سیستمهای ضبط صدا با شیار خطی و عمق متغیر، بسیار خوب بود.

در این زمان روش دیگری از حکاکی بوسیلهٔ امیل برلینر[1] طرح شد. وی با اصلاح وضع نوک ضبط، نسبت به سطح دیسک، توانست حکاکی سینوسی با عمق ثابت را جانشین حکاکی با عمق متغیر سازد (شکل ۱۴). یک‌سوزن فولادی برای لولهٔ (ضبط) صدا، لازم بود. این‌سوزن بسرعت ساییده می‌شد و با هر دیسک می‌بایست سوزن را عوض کرد. این نواقص مدتی دوام داشتند، اما مسؤولیت تأخیر در پیدایش دیسک را، که در سال ۱۹۱۰ رقیبی برای استوانه شد، نمی‌توان به‌عهدهٔ آن گذاشت. با این‌حال در این زمان، آقای لئون گومون[2] از دستگاه دیسک‌داری برای نخستین آزمایش خود جهت ناطق کردن فیلم سینما استفاده کرد. صدا، به لطف دو بگافون بزرگ پنوماتوآکوستیک[3] (هواصوتی)، محوطهٔ بزرگ اسبریس میدان کلیشی[4] را که در آن زمان

1. E. Berliner 2. Le'on Gaumont 3. pneumatoacoustique 4. Clichy



شکل ۱۴.فونوگراف برلینر (۱۸۸۸)، با شیارهای دارای عمق ثابت بر روی سطح فلزی.

بزرگترین سالن سینمای جهان بود، پر می‌کرد.

تحول در تکنیکهای ضبط: ضبط پنوماتو مکانیک (هوا مکانیکی) با پهلوی هم قرارگرفتن هرچه نزدیکتر اجراکنندگان در مقابل شیپور دارای دهانهٔ بسیار بزرگ دستگاه عملی می‌شد. در این نوع طرزکار دارای فاصله، در بهترین شرایط هم، در طنین ابزارها و اختلالات داخلی یا خارجی شیپور، هیچ‌گونه اصلاحی را نمی‌شد اعمال کرد. بنابراین، حداکثر بلندپروازی از محدودهٔ ضبط قطعات مارش نظامی، آهنگ و آوازهای جشنی فراتر نمی‌رفت، حتی روی دیسک، ضبط موزیکهای بزرگ آواز هم، تا چه رسد به ارکسترهای نسبتاً مفصّل، محال بود. دستگاه فونوگراف، در اینجا یک نام عمومی است، زیرا با مارکهای گوناگون و اجراهای مختلف موزیک ضبط شده به اسمهای گوناگون، در بیست یا سی سال اولیهٔ کاربرد آن در موقعیتی مشابه سینما، یک وسیلهٔ تفریح تودهٔ مردم بوده است، نه یک سرگرمی اغنیا.

با این‌حال، در سالهای پیش از جنگ جهانی اول به بهترین روشهای ضبط، چه با مجهزتر کردن استودیوها، چه بویژه با به‌کارگیری مواد دیگر برای ساخت دیسکها، دست یافتند. در همین دوران است که کاربرد مخلوطی از صمغ لاک و مواد معدنی آغاز شد، این مخلوط مدتها مورد استفاده قرار می‌گرفت و ضبط در دو رویهٔ دیسک را ممکن ساخت. اما مرحلهٔ تعیین‌کننده زمانی شروع شد که به‌جای روشهای مکانیکی، از امکانات برقی استفاده کردند.

شرایط فنی لازم، با کاربرد لامپهای خلأیی برای TSF (تلگراف بی‌سیم) و نیز استفاده از فزونسازها (آمپلی‌فایر) برای رادیوفونی، حاصل شد. این وسایل دستگاه ضبط و تکثیر را کاملاً دگرگون ساختند و تفوق قطعی دیسک را با بیرون انداختن استوانه سبب شدند؛ استوانه در همان شروع سالهای ۲۰، لااقل در تولید صنعتی از میان رفت.

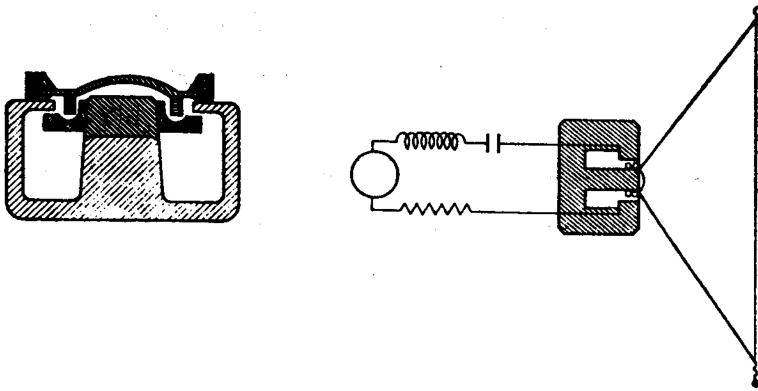
در سال ۱۹۲۵ ضبط، به توسط میکروفون، فزونساز لامپی و خط‌انداز الکترومغناطیسی روی موم، رقیب روش کلاسیک ضبط مکانیکی شد و بزودی آن را از میدان بیرون کرد.

میکروفونها و ترانسدوکتورهای الکترومکانیکی: میکروفون از زمانی که بوسیله گراهام‌بل در ۱۸۷۶ برای انتقال صوت، در نخستین تلفن به‌کار گرفته شد، شامل غشائی بود، که در وسط خود یک دیسک آهنی داشت که دربرابر قرقره با هسته‌ای از آهن نرم مرتعش می‌شد؛ این چاره‌کاری بعدها، دست‌خوش یک ردیف اصلاحات شده است. راه‌حلهایی که پیاپی توسط تجربه‌گران پیشنهاد شدند نتایج خوبی داشتند: آقای ادیسن در ۱۸۷۷ یک قرص زغالی را روی غشای مرتعش نصب کرد، و سال پس از آن، آقای هیوز نخستین میکروفون حامل مدادی عمودی از زغال قرع را ساخت که پیش‌نمونهٔ مدلهای متعدد زغالی شد. مدل کلاسیکی برای تلفن در ۱۸۹۷ به‌کار گرفته شد که شامل الکترودی از یک قرص زغالی بود که در وسط غشائی آلومینیمی نصب، و دربرابر یک الکترود ثابت زغالی مرتعش می‌شد. این مدل را *Solidback* نامیدند و بزودی در امریکا و انگلستان رواج یافت و حدود چهل سال به‌کار گرفته می‌شد.

راه‌حلهای دیگری در سالهای ۱۹۳۰ مطرح شدند که بویژه در رادیوفونی[۱] مورد استفاده قرار گرفتند که کاربرد آن در تکنیکهای ضبط الکتروآکوستیکی تحولی به‌وجود آورد. اینها میکروفونهای الکترودینامیکی و الکترومغناطیسی هستند. دیافراگم در نوع اول میکروفونها (شکل ۱۵)، حامل قرقره‌ای بود که تحت تأثیر امواج صوتی، در چاک یک آهنربای دائم جابه‌جا می‌شد، و در مدار قرقره، یک نیروی برقرانی القایی پدید می‌آمد که هماهنگ با سرعت جابه‌جا شدنهایش تغییر می‌کرد. در مدل دوم، قطبهای آهنربای دائم، بوبین را دربرگرفته‌اند. یک غشا از آهن نرم دربرابر این قطبها گذاشته شده است که تغییر مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) مدار، در این قرقره‌های کوچک، ایجاد جریان مدولاسیون می‌کند (شکل ۱۶).

خصوصیات این «ترانسدوکتور» ها، طبق اصطلاح فعلی، و تعدادی از وسایل دیگر، الکتروستاتیکی، پیزوالکتریکی و غیره، و بهترین شرایط کار آنها، جهت کاربردهای گوناگونی که برای آنها ساخته می‌شدند، بزودی مورد بررسی قرارگرفتند. نتیجهٔ این بررسیها ساخت وسایل بسیار نرم و دقیق تغییر

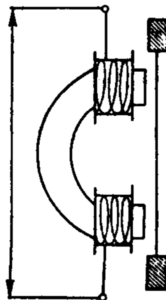
۱. منظور تلفن بی‌سیم، سیستمی از پخش صدا با استفاده از خواص امواج الکترومغناطیسی.ـم.



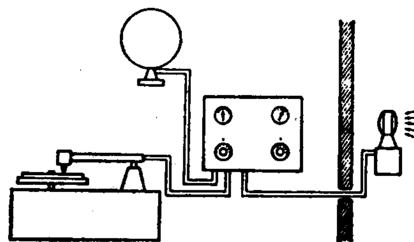
شکل ۱۵.میکروفون و بلندگوی الکترودینامیکی.
قرقرهٔ متحرک در چاک یک آهنربای دائم به یک غشای نازک مرتبط است.

شکل ارتعاشهای آکوستیکی به علائم برقی بود و چون خواص آنها برگشت‌پذیر هستند، از تغییر شکل این علائم به ارتعاشهای مکانیکی برای حکاکی دیسکها از یکسوی و مسیرهای متقارن برای شیارخوانی و بازسازی صدا در الکتروفونها استفاده شد. فزونسازهای لامپی، در تجهیزات ضبط و بازسازی صدا، واسطه‌های مؤثری بودند.

این پیشرفت همزمان عناصر گوناگون تکنیکی که پاسخگوی کاربردهای مختلف بودند، در ۱۹۲۵ روشهای الکتروآکوستیکی و الکترومغناطیسی را جانشین روش پنوماتومکانیکی کرد، که تا



شکل ۱۶.میکروفون الکترومغناطیسی.

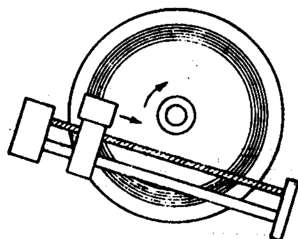


شکل ۱۷.ضبط روی دیسک (حدود ۱۹۲۵ـ۱۹۳۰).
میکروفون در تالار شنوندگان است؛ این دستگاه دارای یک فزونساز با دگمه‌های تنظیم یک «مونیتور» برای کنترل کیفیت ضبط است، و نیز وسیلهٔ حکاکی دیسک است که در اینجا، مغناطیسی است.

آن زمان یگانه روش بود. با این‌حال، این روش، یک دههٔ دیگر برجای ماند. حکاکی نیز، به همین نحو، در زمان ضبط به کمک ترانسدوکتور الکترومکانیکی، مستقیماً روی دیسکی از موم انجام می‌گرفت.

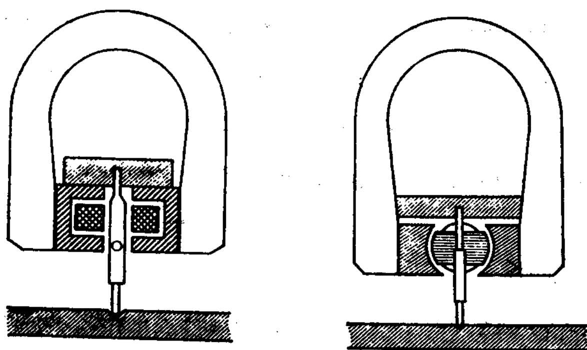
با وجود این، از همین زمان، شرایط ضبط صدا بسیار بهتر شد. اتاقک ضبط صدا را از استودیو یا از تالار شنوندگان (اودیتوریم) مجزا کردند (شکل ۱۷). در این تالار، اجراکنندگان می‌توانستند متعدد باشند و میکروفونها در چند نقطه نصب شوند ـ کاری که با شیپور دیافراگمهای پنوماتومکانیکی کلاسیک ممکن نبود. ضبط در تئاترها و سالنهای گوناگون عمومی آغاز شد. در اتاقک ضبط صدا تکنسین صدا حضور می‌یابد و اجرای کار را، نخست به کمک یک بلندگو، سپس به‌توسط یک هدفون تعقیب می‌کند. رفته رفته این یک اپراتور واقعی شد که روی قسمتهای گوناگون پخش نظارت می‌کرد تا کیفیت ضبط را تنظیم کند.

بدین‌ترتیب دیده می‌شود که بررسیها روی شکل شیار، شکل ابزار حکاکی، شکلهای مرتبط شیار و سوزنهای شیارخوان (پیکاپ)، علل گوناگون خراب شدن صدا به‌هنگام ضبط و بازسازی آن گسترش یافت. یک پیشرفت جالب توجه به‌دنبال تغییر شکل دستگاه حکاکی موم واقعی پدید آمد. بازویی که حول یک محور ثابت نوسان داشت جای خود را به نوک حک‌کننده‌ای واگذاشت که بر روی غلتکی قرار داشت و آن توسط یک پیچ بی‌انتها از محیط به‌طور شعاعی به طرف مرکز کشیده می‌شد. بدین‌ترتیب، با عمل کردن روی همزمانی سرعت چرخش دیسک و جابه‌جایی خطی نوک حک‌کننده، یک انعطاف‌پذیری تازه، درکار پدید آمد (شکل ۱۸). مونتاژهای الکترومغناطیسی و الکترودینامیکی را با فرمان قلم حکاکی سازگار کردند (شکل ۱۹).

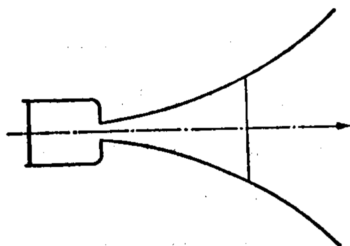


شکل ۱۸.دستگاه الکترومکانیکی حکاکی روی دیسک.
سمت چپ: جعبهٔ دنده؛ یک پیچ اصلی به جابه‌جایی قلم حکاکی فرمان می‌دهد. دیسک با سرعت زاویه‌ای ثابتی می‌چرخد.

الکتروفون: دربارهٔ وسیلهٔ تکثیر صدا که آن را الکتروفون نامیدند، در اواخر سالهای ۳۰، تغییر شکلهای مشابهی طبعاً به‌وقوع پیوست، و پیشرفتهای بسیاری هم به‌دست آمد. در اوایل سدهٔ بیستم به‌جای شیپور مخروطی، شیپوری کار گذاشته شد که مقطع آن یک خم نمائی (اکسپونانسیل) بود. دیافراگم ارتعاش‌کننده را با محفظه‌ای از فشار که مشخصات آن دقیقاً حساب شده بود از دهانهٔ



شکل ۱۹.قلمهای الکترومغناطیسی حکاکی در سمت چپ؛ قلمهای الکترودینامیکی، سمت راست.
سمت چپ: قلم که روی چرخکی قرار دارد در وسط قرقره‌ای که در چاک یک آهنربای دائم است، جابه‌جا می‌شود. سمت راست: قلم وصل به یک قاب متحرک، قرقره سبک، است که جریان تحمیل‌یافتهٔ علامت از آن می‌گذرد. این قرقره در یک استوانهٔ آهنی قرار داده شده است. در هر دو مورد، بالای قلم در یک لرزه‌گیر فرو رفته است.



شکل ۲۰.بلندگو با شیپورنمایی و جعبهٔ فشار هوا (پیستون‌فون).

شیپور جدا کردند، تا فزون‌سازی ارتعاشهای صوتی تأمین شود (شکل ۲۰). در دنبال این کار، ساختمان بلندگوها و ترکیب کردن چند بلندگوی، برای بازسازی هرچه دقیقتر همه ارتعاشات شنودی به‌طور سیستماتیک مورد بررسی قرار گرفتند.

الکتروفون نیز اصلاحات متعددی به خود دیده است که بررسی یکایک آنها مقدور نیست. این اصلاحات از یکسوی مرهون پیشرفتهای الکتروآکوستیک بود که به یک رشته علمی با روشهای تحلیلی بسیار دقیق تبدیل شده بود؛ از سوی دیگر، وسیلهٔ نوینی بود که در دسترس این فراورده‌ها گذاشته شده بود، و نیز علل دیگری علاوه‌بر الکترونیک یا تولید صنعتی مواد سنتزی.

تولید صنعتی دیسک: مقارن پیشرفتهای ابزارهای ضبط و تکثیر، صنعت دیسک، رفته رفته، خصلت یک صنعت با تولید انبوه را یافت. دیسک، همان‌طورکه گفتیم، بتدریج جای استوانهٔ «فونوگرام» را گرفت. در اوایل سالهای ۲۰ این جانشینی، حتی با اینکه استوانه، بازهم چندگاهی درکار ضبط باقی ماند، کامل شد.

«موم» یا مومی که ترکیب آن از آغاز به‌این‌سوی، بسیار تحول یافته، هنوز برای مدت زمانی، جزء اصلی تشکیل‌دهندهٔ پایهٔ حکاکی شونده بود. حدود سال ۱۹۴۵ که کار ضبط رفته رفته با نوار مغناطیسی انجام می‌گرفت. مرحلهٔ نخست ساخت آن، انتقال ضبط روی دیسک به ضبط روی استات سلولوزی بود که پوششی روی دیسک آلومینیمی بود. این استات در آن زمان نقطهٔ آغاز یک رشته عملیاتی شد که به چاپکاری ماتریس انجامیدند.

مراحل این رشته عملیات، که در سالهای ۲۰ اجرا شدند هنوز هم دست نخورده مانده‌اند. اینها یک رشته عملیات متناوباً شیمیایی و الکتروشیمیایی برای به‌دست آوردن برگردانهای پشت سر هم نسخهٔ اصلی می‌باشند. زمانی‌که کار را با موم شروع کردند، این موم را با لایهٔ نازکی از گرافیت

صلایه‌شده، به‌طور کاملاً یکنواختی بوسیلهٔ قلم مو پوشانیدند. پس از مدت بسیار کوتاهی، این روش را، برای اینکه دیسک رسانای برق شود، با صلایه‌سازی با برق ذرات ریز طلا در خلأ عوض کردند. زمانی‌که استات به‌کار گرفته شد، این روش دیگر به‌درد نمی‌خورد، زیرا این ماده در برابر آثار خلأ پایدار نبود. لازم آمد با غوطه دادن در حمامهای شیمیایی از آرژانتید استفاده کنند.

بعداً به نوعی پوشش با مس در یک حمام الکترولیزی روی آوردند. لایهٔ مس رسوب کرده روی دیسک، آسان از آن جدا می‌شود و نخستین برگردان منفی را تشکیل می‌دهد که پدر نام دارد. اگر با موم شروع کنند باید پیش از آنکه دومین عمل الکترولیزی برای ساخت برگردان مادر انجام شود، سطح برگردان پدر را نقره‌پوش کنند. زمانی‌که از استات شروع می‌کنند، این عملیات شیمیایی بیهوده می‌شود؛ با به‌کار بردن مس لایهٔ نقره از استات جدا می‌شود.

برگردان‌مادر، پوزتیف دیسک اولیه است. در ابتدای کار، برای گوش دادن و اعمال، در صورت نیاز، چند حک و اصلاح جهت بهتر کردن ضبط، از آن استفاده می‌شود. سطح مسی برگردان مادر با عمل آبکاری در حمامهای شیمیایی جدیدی نیکلی می‌شود، و آخرین الکترولیز روی آن، دومین برگردان نگاتیف را می‌دهد، که با نشاندن آن روی یک دیسک مسی، ماتریس تشکیل می‌شود.

این رشته عملیات با وجود اینکه هر دستکاری مستلزم احتیاطهای فراوان و شرایط اجرای الکترولیزها، دقیقاً معین است، باز بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشد. امکان دست‌نخورده ماندن موم یا استات اولیه وجود دارد که بدین‌ترتیب می‌توانند برای تهیهٔ تعداد مورد نیاز برگردان پدر، بارها به‌کار روند و هر پدر می‌تواند چندین مادر بسازد و هر مادر چندین ماتریس. وانگهی، از زمان به‌کار گرفتن نوار مغناطیسی، این نوار می‌تواند با چندین استات بارها ضبط شود اگر به‌این ردیف امکانات، افزایش ظرفیت چاپکاری هر ماتریس را بیفزاییم متوجه می‌شویم که صنعت دیسک یک روش تکثیر تقریباً پایان‌ناپذیر در اختیار دارد.

تکنیک چاپکاری، مشکل خاصی ندارد. زمانی‌که این تکنیک پذیرفته شد، قالب‌گیری مواد پلاستیکی گردهای گرما سخت بسیار رواج یافته بود.

ترکیب جسمی که برای چاپکاری دیسک به‌کار می‌رود تحول بسیار یافته است. در اوایل کار، از یک مخلوط همگن استفاده می‌شد که مادهٔ عمدهٔ آن یک چند موم مخلوط با مواد معدنی بود. اما مومها سریعاً کنار گذاشته شدند. به‌جای آنها از صمغ لاک همراه با مواد الحاقی گوناگونی نظیر تراشه‌های چوب یا پرز پنبه علاوه‌بر مواد معدنی استفاده کردند. طی مدتی، همچنین دیسکهایی از

مواد پلاستیکی ارزانتر ساخته شد که قسمتهایی از آنها را با کاغذهایی که روی آنها صمغ لاکی پاشیده بودند، می‌پوشانیدند. عملیات پرسکاری، پس از نصب ماتریسها روی هر دو صفحهٔ پرس، عبارت بود از پر کردن قالب افقی با خوراکی از قرصها یا دانه‌های قبلاً گرم شده، و فرود آوردن صفحهٔ حامل ماتریس دوم. برچسبها به ترتیب، یکی پس از دیگری، بعد از پر کردن قالب، برای ساخت هر دو سطح دیسک با یک ضربه، در جای مناسب گذاشته می‌شدند. زمانی‌که کاغذ لاکی به‌کار برده می‌شد، هر ورق را باید طوری می‌گذاشتند که رویهٔ لاکی، قبل و بعد از پر کردن قالب، مقابل ماتریس باشد.

این دیسکها تا اواسط سالهای ۵۰ به‌کار گرفته می‌شدند، اما بسیار سریع خراب و بسیار آسان شکسته می‌شدند. این معایب زمانی‌که از رزینهای سنتزی استفاده شد، که رایجترین آنها پلی‌وینیل‌کلراید بود، برطرف شدند. ورقهای لاکی کاغذ بی‌فایده و پرسکاری آسان شد.

از همان اوایل تولید، رسم شده بود که مادهٔ به‌کار برده شده را با دوده سیاه کنند تا تفاوتهای آشکار منظره‌ای که نتیجهٔ تفاوتهای ترکیب مخلوط اصلی است، پوشیده بماند. خود مردم چنان به رنگ سیاه دیسکهای بازاری عادت داشتند که افزایش دوده، حتی زمانی‌که رزینهای سنتزی سفید رنگ به‌کار رفت، ادامه یافت، زیرا تجربه نشان داد که تنها دیسکهای سیاه را مردم می‌خرند.

دیسکهای ریز خط: پیشرفت نهایی دیسکها، تولید دیسکهای با زمان طولانی یا ریز خط بود. مدت شنودی یک دیسک با قطر استاندارد ۲۵ یا ۳۰ سانتیمتری که در دقیقه ۷۸ دور می‌گردید، هر قدر هم که تکنیک پیش از جنگ جهانی دوم، امکان فشرده‌تر کردن مارپیچ را می‌داد، از پنج دقیقه فراتر نمی‌رفت. تیمی از تکنسین‌های شرکت **Colombia Records** به‌سرپرستی آقای پتر گلدمارک[1] در طی سالهای ۱۹۴۵ تا ۱۹۴۸ مسأله را بررسی کرد تا بدون بزرگ کردن دیسک، گنجایش شنودی آن را بالا برد. تحول بسیار برجستهٔ تکنیک ترانسدوکتورهای الکترومکانیکی و خصوصیات مواد جدید سنتزی که صنعت، تازه به تولید انبوه آن در سالهای پس از جنگ پرداخته بود، این تیم را یاری کردند. شماری از این مواد، طرح دستهٔ بسیار سبک حامل سوزن قابل تعویض بلندگوی الکترومغناطیسی را که حتی از انواع بعدی هم سبکتر بودند، ممکن ساختند. از سوی دیگر، رزینهای وینیلی، مادهٔ ویژه چاپکاری ریز خطها بود، و صمغ لاکی مناسب این کار نبود؛ وانگهی رزینهای وینیلی این امتیاز را داشتند که خش خش دیسک را بسیار ضعیف می‌کردند. با استفاده از این وسایل و با دستکاریهای متعدد وسایل ضبط و بازسازی صدا، این تیم توانست شمار شیارها را به $۳\frac{۳}{۴}$ میلیمتر برای دیسکهای ۷۸ دور و به ۹ و حتی ۱۰ میلیمتر برای دیسکهای $۳۳\frac{۱}{۳}$ دور

1. Peter Goldmark

برساند. کاهش سرعت دور زدن دیسک که متناسب با شکل شیار بود نیز در افزایش ظرفیت هر طرف دیسک تأثیر داشت. در همان زمان توانستند دیسکهای ۴۵ و حتی ۱۶ دور در دقیقه بسازند، گرچه دیسکهای ۱۶ دور به اندازهٔ دو نوع قبلی خریدار نیافت.

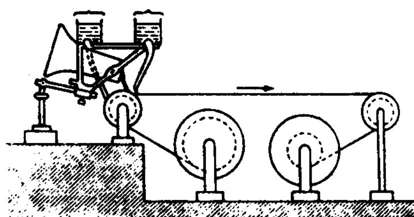
فیلم شیاردار: روشهای دیگری برای ضبط‌صوت در پایان سدهٔ نوزدهم اختراع شدند، و تعدادی از آنها در نیمهٔ نخست سدهٔ بیستم تا زمان تغییر شکل صنعت سینما گسترش یافتند و پایه‌هایی برای ضبط ساختند که در زمینه‌های بسیار گوناگونی کاربرد یافتند. همهٔ آنها نتیجهٔ گرایش به‌کاربرد پایه‌های خطی، فیلم، سیم، روبان و نوار بود ـ گرایشی که نخستین بار در تجربیاتی در جهت تحقق ضبط صدا به‌توسط حک‌کاری فیلم به ظهور رسید.

تکنسین‌های متعددی در این مورد اختراعاتی را به‌ثبت رسانیدند یا روشهایی را برای این کار در همان سالهای ۱۸۸۰ شرح داده بودند. نخستین آنان گویا آقای لوبریگو[1] فرانسوی بود که به نوعی میله‌های شیشه‌ای اندیشیده بود که یکطرف آنها با استئارین اندود می‌شد، و با ارتعاشات صوتی پروفیل آن تغییر می‌کرد. این میله را زمانی‌که با گرافیت مداد اندود کردند توانست با روش گالوانوپلاستی برای تبدیل شدن به ماتریس، آماده شود.

بعدها آقای ج. ه. هرینگتن[2] امریکایی در ۱۸۸۶ کوشید تا یک فیلم را مانند استوانه‌های اولیه، با همان وسیلهٔ دارای غشای مرتعش مجهز به یک فیلم، شیار بزند سه سال بعد، آقای ویکس زمسکی روس، روی حاشیهٔ فیلمی شیار زد و، در نتیجه، با کمک یک پیل سلنیمی دندانه‌های آن، با نور خوانده می‌شد. گویا آقای هرینگتن، تحقیقات خود را چند سال دیگر هم ادامه داد. در سال ۱۸۹۹ لودویگ[3] و پففرکورن[4] یکی از طرحهای خود را که از قلمی استفاده می‌کرد که با برق گرم می‌شد، دنبال کردند.

از میان آزمایشهایی که بعدها انجام گرفت می‌توان از آزمایشهای برادران لومییر یاد کرد، که در ۱۹۰۳ از نوارهای کاغذی پوشیده‌شده با ترکیبی نرم براساس ژلاتین استفاده کرد، و بعدها، در ۱۹۲۵ آقایان فوکون[5] و جانسون یک ماشین حکاکی روی فیلم سلولوزی استاندارد ۳۵ میلیمتری با حدود بیست شیار موازی را به‌کار گرفتند (شکل ۲۱) . چنین می‌نماید که این همان آزمایش بسیار پیشرفتهٔ قبل از آزمایش اوژن اوگنار[6] در سال ۱۹۲۹ است. در روش اوگنار، شیار در سطحی بسیار گسترده‌تر از روش الکترومکانیکی انجام می‌گیرد. اوگنار همچنین، بدون موفقیت بازرگانی، قرائت نوری فیلم شیاردار خود را آزمایش کرد. این فکر، کمی بعد، از سوی آقای میلر برای شرکت فیلیپس

1. Laubrigot 2. G. H. Herrington 3. Ludwig 4. Pfefferkorn 5. Faucon
6. Huguenard



شکل ۲۱.دستگاه فوکون ـ جانسون برای حک کردن روی فیلم سلولوزی
در سمت چپ، شیپور ضبط صدا دیده می‌شود. قلمی وصل به دیافراگم آن است که نوک آن روی فیلم است. فتیله‌ای که از ظرف بالایی می‌آید، مایع حلالی را روی فیلم می‌گسترد تا سطح فیلم، پیش از اینکه از زیر قلم بگذرد، نرم شود. مایع دیگری، پس از حک‌کاری، شیار را تمیز، و رویهٔ فیلم را سخت می‌کند.

دنبال شد، اما در این مورد از فیلم سلولوزی پوشیده‌شده با غشایی ژلاتینی و یک غشای ورنی سیاه استفاده شد. قلم فلزی که کم و بیش در غشای ژلاتینی عمیقاً فرو می‌رود، غشای ورنی را می‌برد و دندانه‌های متقارنی نسبت به محور ضبط و دامنه‌های متغیر ایجاد می‌کند. نوار فیلیپس ـ میلر نیازی به دست‌کاری نداشت و با یک دستگاه فوتوالکتریکی، قرائت می‌کرد.

بررسیها برای حک‌کاری روبانهای گردان، با یک نوک الکترومکانیکی، به‌طور جدی در امریکا و نیز در آلمان در پایان دههٔ ۳۰ و در مدت جنگ جهانی دوم انجام گرفت. دستگاههای گوناگونی، در دورانی که ضبط مغناطیسی هنوز کاملاً جا نیفتاده بود، بمنظور قرائتهای رادیوفونی و ضبط پیامهای رادیویی سریع ساخته شد. درطی دههٔ ۵۰، سیستم Te'fi از Allemand Daniels نتیجهٔ این بررسیهاست. پایهٔ ضبط صدا، نوارهای پلی‌وینیلی بودند که به شکل روبانهای گردان با اعوجاج خم پئانو[1] پیچیده می‌شدند. وی از یک نوک الکترومغناطیسی برای حک‌کاری استفاده کرد و ضبط صدا به‌شکل شیارهای موازی که در دو روی دیسک ادامه می‌یافت انجام می‌گرفت. این نوارها را می‌شد مستقیماً با یک نوک پیزوالکتریکی شنید، و با روش الکترولیزی، روشی که برای دیسکهای الکتروفون معمول بود، تکثیر کرد.

نخستین آزمایشها برای ضبط نوری: ضبط نوری صدا، روش نسبتاً ساده‌ای است و برای ساخت آن در پایان سدهٔ نوزدهم عناصر لازم در اختیار بود این راهی بود که هم، روش مربوط به حک‌کاری فیلم را پیش می‌برد و هم با سرعت بیشتری، به مرحلهٔ بهره‌وری از آن می‌انجامید. در چنین اوضاع و احوالی، این ادعا که این روش دوم حک‌کاری با پیگیری از سوی پژوهندگان مختلفی دنبال شده

1. Pe'ano

است، درحالی‌که چشم‌اندازهای کاربرد آن قطعاً بسیار محدود بوده‌اند، کمی شگفتی‌آور است. درست است که تا آیندهٔ نسبتاً دوری، طرح این مسأله که ضبط نوری می‌تواند به‌روشهای بسیار عملی ناطق شدن فیلمهای سینمایی بینجامد، امکان نداشت.

مبانی این زنجیر طولانی تحقیقات را می‌توان درکارهای گراهام‌بل و سامز تینتر یافت که سیستم تازه‌ای برای تبدیل علامات صوتی دریافت شده با تلفن، به علامات برقی، توسط یک دسته شعاع نوری تحمیل شده که بر یک پیل کر[1] تأثیر می‌گذارد، اختراع کردند. شرح این فوتوفون (تلفن نوری) در ۱۸۸۰ داده شده است، اما این دو فیزیکدان در ضبط مدولاسیونهای دسته شعاع نوری روی یک سطح حساس به نور، نیندیشیده بودند؛ گرچه در این دوران هنوز ازکاربرد فیلمهای سینمایی، که آقای ماره چند سال بعد آنها را به‌کار گرفت، چیزی نمی‌دانستند.

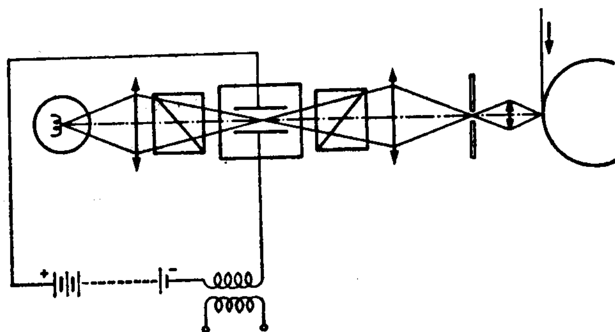
بیست سال بعد از این، آقای ا. و. دادل[2] انگلیسی و آقای روهمر[3] آلمانی که هر دو به تنهایی کار می‌کردند، این پایهٔ فیلمی را پذیرفتند، اما علاوه‌برآن، مجهز به آلترناتورهایی با قوس پر صدا بودند که بتازگی در تلگراف بی‌سیم به‌کار گرفته شده بود. آقای روهمر پیش از دادل موفق به ساخت وسیله‌ای به نام فوتوگرافوفون، در ۱۹۰۰، شد که با نور قوس روی فیلم تأثیر می‌گذاشت و صدای ضبط شده را با کمک یک پیل سلنیمی و یک گوشی تلفن بازسازی می‌کرد.

آقای دادل در ۱۹۰۲ نخستین کسی بود که نوسان‌نگار (اسیلوگراف) دوسیمی بلوندل را، که آینهٔ نوسان‌نگار آن، دسته اشعهٔ نوری را بازتاب می‌کرد به‌کار برد. بدین‌ترتیب، هر دو اصل ضبط نوری، که بعدها به‌کارگرفته شدند، در همان آغاز سدهٔ نوزدهم مورد آزمایش قرار گرفته بودند، ضبط با چگالی نوری متغیر (شکل ۲۲)، و ضبط با چگالی ثابت (شکل ۲۳).

سیما و صدا: تحقیق برای ساخت ضبط نوری بزودی با ناطق کردن فیلمهای تجارتی سینما مربوط شد. نخستین فیلم ناطق را، همان‌گونه که دیدیم، آقای لئون گومون ساخت و در ۱۹۱۰ کرونوفون[4] خود را به آکادمی علوم فرانسه عرضه کرد. درکرونوفون وی وسایل تقویت پنوماتیکی صدا و همزمان‌سازی دیسکها و فیلم را آقایان ر. دکو[5] و ژ. لنده[6] دو همکار وی رو به راه کرده بودند. وی این کار را از ۱۹۱۱ شروع کرد و در ۱۹۱۸ یک پیکاپ (شیارخوان، ورچین) الکترومغناطیسی دیسک را مورد استفاده قرار داد.

یک وسیلهٔ ناطق کردن با دیسکها، ویتافون[7] نام داشت که شرکت وسترن الکتریک آن را تولید می‌کرد و شرکت برادران وارنر، در سال ۱۹۲۶ آن را، ـ با وجود اینکه ضبط صدا با چگالی متغیر

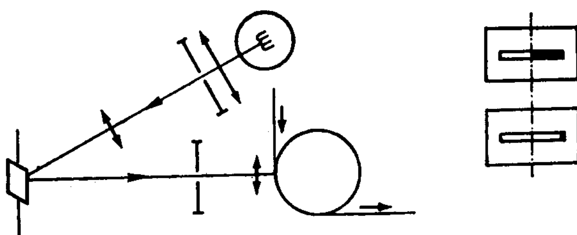
1. Kerr 2. Duddel 3. E. Ruhmer 4. chronophone 5. R. Decaux 6. G. Landet
7. vitaphone



شکل ۲۲.اصول ضبط نوری صدا با چگالی نوری متغیر

ارتعاشات صوتی، تحمیلهایی در جریان برق پدید می‌آورند، که موجب تغییرات متناسبی، به‌توسط پیل کر، که در مدار قرار دارد، در چگالی نوری می‌شود. دسته اشعه‌ای که از منبع نوری واقع در سمت چپ می‌آید و توسط یک عدسی کانونی شده است، پیاپی از یک نیکول قطبنده، پیل کر، نیکول آنالیزور (جداکننده) و یک سیستم نوری، در سمت راست، که آن را روی فیلم ضبط صدا هدایت می‌کند، می‌گذرد.

نور رایج شده بود و همین شرکت در سال بعد برای ساخت یکی از نخستین فیلم طویل ناطق خود با نام خوانندهٔ جاز، از آن استفاده کرد ـ به‌کار گرفت. خود آقای لئون گومون تا سال ۱۹۲۸ به ضبط نوری روی نیاورد، و تنها در این سال بود که یک فیلم ناطق با چگالی نوری ثابت، متفاوت از فیلم سیما تهیه کرد. ادامهٔ این روش در نوعی استفاده در هفده سال پیش از آن، عملی شده بود و طبق آن، بنابر الزامات نخستین مرحله، پایه‌های تصویر و کلام مجزا از یکدیگر بودند. آقای گومون با دو



شکل ۲۳.اصول ضبط نوری با چگالی نوری ثابت.

تحمیلهای جریان برق، آینه، سمت چپ و یک اسیلوگراف دو سیمی را نوسان می‌دهند. نتیجه این کار، ضبط یک رد نوری با پهنهٔ متغیر (سمت راست نموده شده است)، اما با چگالی ثابت، روی فیلم است.

تکنسین دانمارکی: پترسن و پاولسن، که آنان نیز درگیر تحقیق برای ضبط مغناطیسی صدا بودند، همان‌طورکه خواهیم دید، شرکتی جهت اصلاح ضبط نوری ابتکاری خود، تشکیل داد.

دشواریهای مربوط به ضبط نوری صدا روی فیلم، در طی دههٔ ۲۰ بکلی از میان برده شد. این کوششها پیش از جنگ جهانی اول، به‌دنبال آزمایشهای ساختهای اولیه، به نتایج زیادی منجر شدند، که اساساً مدیون آقای اوژن لوست[1] هستند که در سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۱۳ در راه رفع آنها می‌کوشید. لوست با نوعی ابتکار سینمایی در دههٔ ۹۰ سدهٔ نوزدهم برای ساخت چندین دستگاه کار می‌کرد. وی در سال ۱۹۰۴ نخستین دستگاه ضبط‌صوت روی فیلم ناطق را ساخت. او با آقای روهمر دربارهٔ نتیجه کارهای خود مشورت می‌کرد. وی با کنار گذاشتن قوس پرصدا، مدت چند سال به بررسی روشهای مدولاسیون نور تبدیل شده به علایم برقی پرداخت و برای این کار سیستمی متشکل از دو سیم فلزی دیامغناطیسی [2] را به‌کار گرفت که در چاک یک مغناطیس برقی گذاشته می‌شد. وی ضمن کارهای خود، فیلمهای کوچک متعددی ساخت که ناطق بودند، و موجودیت آنها تا سال ۱۹۲۹ آشکار نشد؛ در این سال مؤسسه **Bell Telephon Laboratories** آنها را اعلام کرد. اما صدای فیلمهای لوست، تنها با کمک گوشی تلفن شنیده می‌شد.

آغاز سینمای ناطق: گرچه این پیشاهنگ راه را هموار کرد، کارهای وی، پس از وقفهٔ جنگ جهانی اول، به‌دنبال‌کنندگان راه وی کمکی نکردند. تنها با به‌کار گرفتن فزونسازهای الکترونی و اختراع انواع گوناگون لامپهای تخلیهٔ گازی (با شعلهٔ منفی)، از جمله لامپ لی دا فارست[3] اختراع سال ۱۹۱۹، که این مخترع اودیون[4] آن را Photionنامید، موفقیت به‌دست آمد. آقای فارست در ۱۹۲۳ چند فیلم ناطق به نمایش گذاشت که با لامپ خود و یک پیل فوتوالکتریکی از سولفیدبیسموت، طرح ث. و. کیس[5] تهیه شده بود. آقای کیس نوعی روش ضبط و تصویرافکنی را کلاً ابداع کرد که در سال ۱۹۲۶ به نام Fox Movietone شناخته شد.

این روش که بعدها با چگالی متغیر نامیده شد و فاکس موویتون شروع به‌کاربرد آن کرد، کمی بعد، همراه راه‌حلهای گوناگون به‌توسط برادران وارنر، همان‌طورکه گفته شد، برپایهٔ کاربرد لامپهای تخلیه گازی مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات شدت نوری که توسط این لامپها منتشر می‌شوند تحت فرمان ارتعاشات صوتی هستند و نوعی احساس عکاسی روی رد صوتی با پهنای ثابت و

1. E. Lauste

۲. نفوذپذیری مغناطیسی این سیمها از هوا یا خلأ کمتر است.ـم.

3. Lee de Forest

۴. audion: نام تجارتی لامپ الکترونی سه الکترودی قدیمی در رادیو.ـم.

5. Th. W. Case

کدورت متغیر ایجاد می‌کنند.

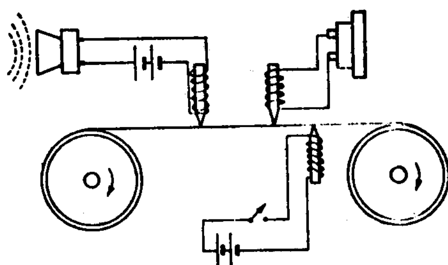
روش با چگالی ثابت، که سیستم GPP (گومون، پترسن و پاولسن) یکی از نخستین راههای به‌کارگرفتن آن است، یک رد صوتی می‌دهد که از یک نوار کدر ثابت، که یک یا هر دو کنارهٔ آن با طولهای متغیری دندانه‌دار شده‌اند تشکیل می‌شود. در آلمان اتحاد این دو شرکت توانست **Tobis** **Klangfilm** را عرضه دارد که پس از مدت کوتاهی، بزرگترین شرکت تولیدی فیلم ناطق در اروپا شد.

این رشته‌کوششها، دامنهٔ تحقیقات دربارهٔ پدیده‌های متعدد فیزیکی را برای حل همهٔ دشواریهای اپتیکی، حساسیت‌سنجی، فوتوالکتریسته، ساخت اوسیلوگرافها و غیره گسترده‌تر ساخت، و آنها که با رخ نمودن فیلمهای ناطق نوری همواره مطرح بوده‌اند، بتدریج حل شدند. برای اینکه نمونه‌ای داده باشیم، علاوه‌بر کاربرد اسیلوگراف بلوندل در آغاز، و اسیلوگرافهای الکترومغناطیسی که پس از آن ساخته شدند، و نیز کاربرد فزونسازهای الکترونیکی، این نوآوری متکی به دانشی دربارهٔ آثار تخلیهٔ برقی در فضای سربسته‌ای شد که مورد تحقیق تعداد فراوان فیزیکدانان ثلث آخر سدهٔ نوزدهم بود، و به نتایج متعدد دیگری راه یافت.

سالهای ۱۹۲۹ و ۱۹۳۰ شاهد تنزل سریع فیلمهای صامت و با همین نسبت، ترقی فیلمهای ناطق بودند. باید در نظر داشت که این جهش موجب تحولات بسیار مهمی در تجهیزات استودیوهای فیلمبرداری و سالنهای نمایش شد. تکنیک کارگردانی و همچنین تکنیک کار هنرپیشه‌ها، نوع چشم‌اندازهایی که در فیلم دیده می‌شوند و سرانجام، تکنیک اطلاعات جمع‌آوری و پخش شده در ورای جنبه‌های صرفاً تجارتی را کاملاً تغییر داد.

مبانی ضبط مغناطیسی: به‌کارگرفتن پایه‌های خطی، سیم یا نوار، برای ضبط و تکثیر صدا با روشی است که براساس تغییرات حالت مغناطیسی یک مادهٔ مستعد و در معرض تغییرات میدان یک مغناطیس برقی قرار دارد که قرقره‌های آن از یک جریان مدوله‌شدهٔ ارتعاشات صوتی تبدیل شده به علامتهای برقی تغذیه می‌شوند.

بزودی معلوم شد که این رشته تحقیقات می‌تواند موازی با تحقیقاتی که قبلاً از آنها یاد شد به پیش رود. تحول دانش فیزیک و وسایل در دسترس، به همین ترتیب آن را تحت تأثیر قرار دادند. بویژه، همان‌طورکه در دیسکهای فونوگراف و رد نوری دیدیم پیدایش فزونسازهای الکترونیکی نقش قاطعی در این کار داشته است. اختلافهای مختصری دربارهٔ تاریخ آغاز و پایان این دوران تحقیقات، که به مرحلهٔ کاربرد انجامید، وجود دارد. نخستین طرح در این مورد مدیون والدمار پاولسن در



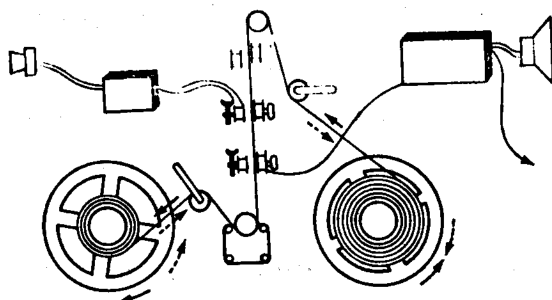
شکل ۲۴.اصول دستگاه ضبط مغناطیسی پاولسن.
سیم یا نوار فلزی با عبور از برابر نوک ضبط، نوک پیکاپ، سپس نوک پاک‌کنندهٔ صدا، از چپ به راست جابه‌جا می‌شود. در واقع در این دستگاه، تنها از یک مغناطیس برقی برای کارهای گوناگون استفاده می‌شود.

۱۸۹۸ و ساخت نهایی، مربوط به ماگنتوفون آقای پفلومر[1] در ۱۹۴۱ است. اما این مسأله، زیاد مهم نیست. پیشرفت این رشته با آنچه که قبلاً در کار رواج روشهای دیگر ضبط، شرح داده شده است، تقریباً مشابه است.

زمانی‌که پاولسن این روش ضبط مغناطیسی را که باید تلگرافون نامیده شود طرح کرد، آهنربایی کردن یک میلهٔ فولادی موجود در میدان یک آهنربای دائم، نیم سدهٔ پیش از آن مورد بررسی قرار گرفته بود. پدیدهٔ پسماند مغناطیسی در آن زمان بقدرکافی شناخته شده بود. آگاهی از این پدیده‌ها آقای اوبرلین اسمیت[2] امریکایی را در ۱۸۸۸ بر آن داشت که کاربرد مغناطیسی کردن سوده‌های آهن گسترده شده روی روبان را به‌جای روش ضبط مکانیکی استوانه‌های فونوگراف تازه پدید آمده، پیشنهاد کند. اما خود وی در راه اجرای این پیشنهاد، هیچ گامی برنداشت.

اما، پاولسن، طرحی نسبتاً ساده را به‌کارگرفت: ضبط علامتهای برقی پخش شده به‌توسط یک میکروفون روی یک سیم فولادی، که یک مغناطیس برقی را وارد مدار آن کرده‌اند (شکل ۲۴). این سیم دربرابر یک مغناطیس برقی از یک طبلک به طبلک دیگری جابه‌جا می‌شد. این مغناطیس زمانی‌که میکروفون در صورت حذف پیل تغذیه مدار، تبدیل به گوشی تلفن می‌شد همچون نوک پیکاپ عمل می‌کرد و زمانی‌که تنها این پیل قرقره‌ها را تغذیه می‌کرد، نقش نوک پاک‌کنندهٔ صدا را داشت. دستگاه پاولسن، که ساختار اولیهٔ ماگنتوفون کنونی را داشت در نمایشگاه ۱۹۰۰ پاریس موفقیت جالبی کسب کرد؛ اما با پیشرفت سریع صنعت فونوگراف مواجه شد که بتازگی شناخته شده بود.

1. Pfleumer 2. Oberlin Smith



شکل ۲۵.اصول دستگاه اشتیله ـ مارکونی
سه نوک مغناطیسی، روی خط مستقیم روبان فولادینی که از روی قرقره‌های کشنده می‌گذرد، دیده می‌شود. جهت چرخش طبلکها را می‌توان معکوس کرد.

وانگهی کیفیت ضبط و بازسازی آن بسیار پایین بود، به‌طوری‌که دنبال‌کنندگان راه او تنها توانستند نابودی آن‌را به تعویق بیفکنند.

روشهای اولیه اشباع مغناطیسی: خود پاولسن که با پترسن کار می‌کرد چند سال بعد، در ۱۹۰۷، راه کاهش این نواقص را در اشباع مغناطیسی پایهٔ ضبط صدا با یک مغناطیس برقی دید که قرقره‌های آن با جریان مستقیم تغذیه می‌شوند. سیم فولادی را از مغناطیس اشباع کردند تا تأثیر میدان مدولاسیون اصلاح شود و نگذارد جز صفحات مغناطیس (یا القای) مانده، متناسب با نوسانهای میدان ضبط، چیزی بماند.

روش اشباع مغناطیسی، که اکنون قطبش مغناطیسی با کمک میدان اضافی، با میدان مستقیم نامیده می‌شود، بیست سال بعد توسط یکی از مبتکران اصلی در این رشته، به نام ک. اشتیله[1] آلمانی، در ۱۹۲۷ به‌کارگرفته شد. آقای اشتیله افکار پاولسن را با دقت بسیار دنبال کرد و راه‌حلهای مکانیکی و برقی بسیار خوبی برای آنها یافت؛ اما سیم فولادین را به‌عنوان پایه حفظ کرده بود و آثار صداهای همراه و اعوجاج صوتی هنوز بسیار مزاحم بودند.

شرکت مارکونی که بر پایه امتیاز ثبتی خود حقوق آن را به‌دست آورده بود چند تغییر در دستگاه خود وارد کرد. تکنسین‌های آن به‌جای سیم از یک روبان فولادی استفاده کردند که عرض و ضخامت آن دقیقاً حساب شده بود تا بیشترین بخش نواقص، برطرف شود. آنان از سه نوک مستقل از یکدیگر برای ضبط، پیکاپ و پاک کردن صدا استفاده کردند (شکل ۲۵). آنان بویژه

1. K. Stille

طرز حرکت روبان را تنظیم کردند و سرانجام از کشف روشهای اشباع مغناطیسی با جریان متناوب، سپس جریان با بسامد بسیار زیاد برق بهره گرفتند.

دستگاه نوین اشتیله در سال ۱۹۳۴ ویژهٔ ضبط جهت رادیوفونی شد. این نخستین دستگاه ضبط مغناطیسی بود که در استودیوهای رادیو به‌کار گرفته شد و حدود بیست سال مورد استفاده قرار گرفت.

پیدایش ماگنتوفون: با این‌حال، حتی پیش از موفقیت دستگاه اشتیله، بررسیها هم در امریکا و هم در آلمان شروع شده بود. در امریکا طی دهۀ ۲۰ دو نتیجهٔ مهم گرفته شد. نخستین آن مربوط به‌روش قطبش مغناطیسی با اشباع مغناطیسی با جریان متناوب بود. اصل آن را آقایان کارلسن[1] و کارپینتر[2] که مدتها برای یافتن روشی که ضبط بسیار سریع پخشهای رادیویی را ممکن سازد در سال ۱۹۲۱ پایه گذاردند. پژوهندگان دیگری از امریکا با نامهای کارل و. رودنهام[3] در ۱۹۲۹ و جیمز ه. الورسن[4] نیز کاربرد جریان متناوب با بسامد زیاد را برای اشباع کردن مغناطیسی پایهٔ فلزی بررسی کردند، علامت صوتی برای حذف جزئی بسامد حامل دخالت می‌کرد. اشباع قبلی امکان می‌داد تا حذف نوک پاک‌کنندهٔ صدا مورد بررسی قرار گیرد.

کارهای دیگری روی پایهٔ ضبط صدا تمرکز یافته بودند. در همین دوره بود که آقای ج.ا. اونیل[5] در ۱۹۲۷ اندیشید که به‌جای روبان فولادی از روبان ساخته شده از استات که با یک ورنی آغشته به اکسیدآهن مغناطیسی $Fe_2O_3\gamma$ پوشیده می‌شد استفاده کند.

در آلمان، تحقیقات اساساً روی هر دو مسأله متمرکز شد، اما این تحقیقات، بویژه در آستانهٔ جنگ جهانی دوم شدت بیشتری گرفت. آقای پفلومر در سال ۱۹۲۸، یعنی مقارن با اونیل همکار امریکاییش، تهیهٔ نوارهای کاغذی یا از یک مادهٔ مصنوعی پوشیده شده با لایه‌ای از اکسیدمغناطیسی آهن را مورد بررسی قرار داد و در همکاری با شرکت AEG در سال ۱۹۵۴ به یک راه‌حل کامل برای ضبط مغناطیسی روی نوار و نیز ساخت تجهیزات ویژه‌ای که همان آغاز، ماگنتوفون نام گرفت توفیق یافت.

با این‌حال پیشرفتهای دیگری باید انجام می‌گرفت. پایهٔ رد صوتی از تحول در ساخت مواد مصنوعی و سنتزی، که بزودی یک رشته مواد دارای خواص مناسب، از استاتهای سلولوز تا پلی‌وینیلها و پلی‌استرها را در بر می‌گرفت برخوردار شد. تهیهٔ ورنیهای فعال و روشهای کاربردی آنها پیاپی بهتر می‌شدند. اکسید فرو Fe_2O_3 کمی بعد جای خود را به‌نوعی اکسید فریک $Fe_2O_3\gamma$ داد که

1. Carlsen 2. Carpenter 3. Carl W. Rhodenham 4. J. H. Alversen 5. J. A. O'Neill

ساخت آن نیز باید مطالعه می‌شد و اکنون اکسیدهای فلزی دیگری رقیب آن هستند.

ازسوی دیگر، مسألهٔ مغناطیس کردن را نیز آقای پفلومر، سپس یوآخیم برانموهل[1] از نو به پیش کشیدند و حدود سال ۱۹۳۷، جریان با بسامد فراصوتی را، همان‌گونه که پژوهندگان امریکایی پیش‌بینی کرده بودند، مناسب یافتند. هنوز لازم بود حدود پنج سال دیگر کار شود تا این روش بتواند در ماگنتوفون به‌کار رود. امتیاز این روش، کاهش چشمگیر صداهای همراه و افزایش پهنهٔ توان قابل استفاده بود.

از میان مراحل عمدهٔ این جریان، نباید ازیاد برد که همانند آفرینش روشهای دیگر ضبط که مطرح شدند، زمانی هدف در دسترس قرار گرفت که دربارهٔ پدیده‌های فیزیکی که با آنها برخورد کرده بودند ـ مغناطیس، پسماند، اثر میدان الحاقی، ویژگیهای نوکهای گوناگون عملیات و تجزیه و تحلیل علاماتی که آنها ایجاد می‌کنند، محکهای مکانیکی دیمانسیونی و حرکت نوارها، نوع پایه، ورنی و اجسام مغناطیسی و غیره ـ به پژوهشهای پیگیری دست زدند.

گرچه اصول کلی ساخت و کار ماگنتوفون از دههٔ ۴۰ به بعد تغییری نیافته است تحولی پیوسته‌ای از وسایل اجرا و مواد به‌کار رفته، ساخت انواع زیاد مدلهای قابل استفاده برای هر کار، از اجرای سه نوک و وسیلهٔ خاص برای حرفه‌ایها تا مدلهای سبک دارای یک نوک دو منظورهٔ ضبط ـ پیکاپ برای آماتورها، و از یک دهه به‌این‌سوی، مینی‌کاستها که ازسوی مصرف‌کنندگان مورد استقبال وسیعی قرار گرفتند را ممکن ساخت. انواع پایه‌های مغناطیسی مورد آزمایش پیاپی و گاهی پذیرش قرار گرفتند؛ سیم و ورقهٔ مغناطیسی پس از اندک مدتی کنار گذاشته شدند، همچنین نوارها، استوانه‌ها و دیسکهای دارای ردهای متعدد صوتی. بعضی از آنها مثلاً نوارها و دیسکها، و گاهی استوانه‌ها را برای ساخت بعضی قسمتهای حافظهٔ کامپیوترهای الکترونی به‌کار گرفتند. این کامپیوترها، بدون این وسایل، هرگز چنین پیشرفت سریعی نداشتند. حافظه‌های مغناطیسی در اشکال دیگر بویژه به‌شکل فریتها، در این زمینه، کاربرد اساسی یافتند. ضبط مغناطیسی همچنین امکان طرح و کار سیستمهای متعدد فرمان از دور را که درگذر دهه‌های اخیر، وسایل ضبط و انتقال خبر در زمینه‌های بسیار زیاد را تغییر شکل داده است، ممکن ساخت.

بالاخره، ضبط مغناطیسی بیشترین توفیق را با پیدایش ماگنتوسکوپ داشت که صدا و سیما را روی یک پایه ضبط می‌کند.

ضبط علایم تلویزیونی بر اثر فشار الزامات سه‌گانه، برای پاسخگویی به نیازهای مبادلهٔ برنامه‌ها، بمنظور صرفه‌جویی یا حفظ یک اثر از پخشها، برای کاهش دشواریهای ناشی از فواصل جغرافیایی،

1. Joachim Braunmuhl

جداسازی ساعتهای مناسب پخش، جداسازی شش زمان محلی امریکا به‌کار گرفته شد. می‌بایست دشواریهای مربوط به ضبط همزمان نشانهٔ میدان (ترام، فیلد) ۲۵ تا ۵۰ هرتس و نشانهٔ ویدئو ۲ تا ۶ مگاهرتس را برطرف کرد.

به‌کارگرفتن یک حرکت مشابه با حرکت ماگنتوفونها، مستلزم سرعت حرکتی برابر ده متر در ثانیه است که رسیدن بدان محال است. شرکت RCA پس از تحقیقات مفصّل در این‌باره، سرانجام در ۱۹۵۳ سیستمی را پذیرفت که در آن نوار با عرض ۱۲/۷ میلیمتر (نیم اینچ) در هر ثانیه نه متر در فاصلهٔ نوکهای مغناطیسی ۲/۵ مو، حرکت می‌کرد. این نوار پنج رد صوتی داشت که هرکدام برای یک رنگ اصلی قرمز، سبز، آبی و یکی برای صدا و یکی هم برای همزمان‌سازی بود. در همان زمان سیستم VTR (بینگ کراسبی)[1] پدید آمد، که نوار با سرعت ۲/۵ متر در ثانیه حرکت می‌کند و ده قاچ علایم برای ویدئو، یکی برای صدا و یکی برای همزمان‌سازی را حمل می‌کند. کمی پس از این مدت، سیستم امپکس[2] با تحمیل بسامدی برای علایم ویدئویی پدید آمد که چندین نوک برای ضبط متحرک به‌کار می‌گیرد که روی نوار مغناطیسی، ردهای باریک مایل رسم می‌کند.

همهٔ مؤسسات بزرگ در دههٔ ۶۰ در این رشته، تحقیقات گسترده‌ای داشته‌اند و به ساخت و عرضهٔ سیستمهای گوناگونی موفق شده‌اند.

1. Bing Crosby 2. Ampex

۲

مخابرات از راه دور کلاسیکی، پیشرفت تلگراف

کاربرد تلگراف در آغاز نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم جدی شده بود. سیستم مورس به‌طور گسترده‌ای عمومیت یافته بود، درحالی‌که سیستمهای پیش از آن، بکلی از میان نرفته بودند و بویژه، لااقل برای بعضی ارتباطات کاری، سیستمهای دارای صفحهٔ مدرج باقی بودند.

نخستین دستگاه چاپ کننده، دستگاه دیوید هیوز به‌کارگرفته شد و تقریباً بدون هیچ دستکاری، ظاهراً حدود یک سده فعال بود (مجلد سوم، صفحهٔ ۵۵۲). از این پس، تکمیل تلگراف، تقریباً در راه تبدیل به یک کار جمعی بود. گرچه این وسایل هریک مدیون مبتکران کاملاً شناخته‌شده‌ای هستند، این مجموع کوششهای آنان است که در یک خط پیوسته به‌تحقق متوالی انتقال خودکار پیامها و بعداً انتقال همزمان و چندگانهٔ آنان، سرانجام انتقال عکسی با سیم و سپس بی‌سیم انجامید. در این گروه تکنسین‌ها، که خود را وقف این نوآوریها کرده بودند، بعضی از آنها نقش قطعی در پیشرفت این مراحل داشته‌اند.

واقعیت کلی که نخست باید روشن شود تشکیل یک بدنهٔ تکنسین‌های کار آزموده در این رشته‌های کاملاً جدید است. نخستین مؤسسات انتقال تلگرافی، به‌شکل تجربی بر پا شدند. فیزیکدانان

متعددی در این کار دخالت داشته‌اند که تعیین مشخصات جریانهای برقی و پدیده‌هایی که در رسانا‌ها ایجاد می‌شوند مدیون آنان هستند. آنان برای پاسخگویی به یک تکنولوژی تازه پدید آمده ناچار از ایجاد یک دانش واقعی تازه بودند. مفاهیم مقاومت، سرعت انتشار، اثر مواد عایق؛ دستاورد کارهای بسیار سنگینی بودند. مثلاً تعریف و ساخت استاندارد جهانی مقاومت برقی، اهم، مستلزم بیش‌از چهل سال کار بود که از پویه[1]، یاکوبی، و پوگندورف در پایان سالهای ۱۸۳۰ تا کنگره جهانی ۱۸۸۲ به‌طول انجامید.

در این دوران، گروههایی از مهندسان تلگراف و نیز کارشناسان تلفن در هر کشوری تشکیل شد و پژوهشها و تحقیقات فیزیک‌دانان دانشگاهی. این نخستین دوره، به‌طور چشمگیری گسترش یافت. این کارشناسان در آغاز دهۀ ۵۰ سدۀ پیش توسط ادارات دولتی یا خصوصی نام‌نویسی و متشکل شدند و کار تلگراف را روبه‌راه کردند و مدرسه‌های اختصاصی برای آموزش دادن مباحث عالی علمی آن تشکیل دادند.

کاربرد و تکمیل سیستمهای تلگراف، و پس از ۱۸۷۶، تلفن، تنها متضمن اختراع وسایل بسیار پیشرفته در این دو رشته نبود، بلکه اصلاح شرایط انتقال علایم در طول خطوط هم لازم بود. از زمانی‌که ارتباطات در فواصل دور برقرار شد، مشکل نوع رفتار خط و پدیده‌هایی که در آن اتفاق می‌افتند بیش‌از پیش پیچیده شدند و حل آنها تنها با روشهای ریاضیات عالی امکانپذیر بود. در دو دهۀ پایانی این سده، پایه‌های برق صنعتی از برکت وجود کارکنان بسیار زیادی که نیازمندیهای تلگراف آنها را پرورش داده بود و در درون آنها کادرهای علمی مسؤول پیشبرد این رشته جدید وارد شده بودند، منتفع شد. به‌چنین موقعیتی باید درجۀ بالای کیفیت را نیز افزود که تعدادی از کارگاههای ماشین‌سازی ویژۀ ساختن وسایل تلگراف که مهندسان آنها را طراحی کرده بودند، به آن دست یافته بودند.

ارتباطات زیردریایی: در سال ۱۸۵۱ با یک کابل زیردریا، بندرهای کاله و دوور به یکدیگر متصل شدند. در سال ۱۸۵۳ کابلهای دیگری بین انگلستان و ایرلند، بین ایتالیا و کورس و ساردنی گذاشته شد. در ۱۸۵۴ برای گذاردن یک کابل (ترانس آتلانتیک) بین انگلستان و ممالک متحدۀ امریکا، یک شرکت مالی تأسیس شد. موفقیتهای پیشین گاهی به بهای چندین کار بی‌نتیجه به‌دست آمده‌اند. این اقدامات، بررسی کابل‌گذاریها و پوشش عایق و محافظ کابل را در عمل ممکن ساختند. ارتباط ایرلند ـ نیوفندلند؛ در همان سالهایی که برای ارتباط سوئز با کراچی از طریق عدن کارهای انجام می‌گرفت، با ناکامیهایی برخورد کرد. هزاران کیلومتر کابل بدین‌ترتیب در اعماق آبها، بدون نتیجه

1. Pouillet

دفن شدند.

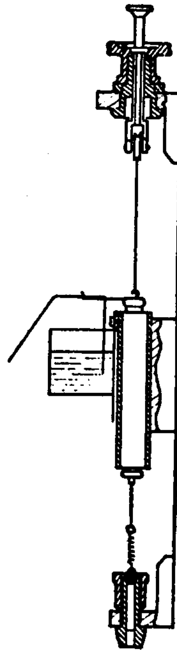
بریتانیای کبیر که در همهٔ این کارها، شرکت مالی داشت و منافع اقتصادی و مالی آن به موفقیت آنها وابسته بود، در سال ۱۸۶۱ کمیسیونی را مأمور بررسی همهٔ جوانب مسألهٔ ساخت و گذاردن کابلهای زیر دریا در مسافتهای زیاد کرد. این کمیسیون که در رأس همهٔ آن آقای ویلیام تامسن ـ لرد کلوین آینده ـ بود، از کارشناسان بسیار نامبردار زمان کمک خواست و برای هر یک از مشکلات مورد بررسی راه‌حلهایی پیشنهاد کرد. در نتیجهٔ کارهای این کمیسیون، گذاردن کابل تراطلسی (ترانس آتلانتیک) در ۱۸۶۵ و ۱۸۶۶ با دشواریهای بازهم فراوان، به موفقیت انجامید. در این کار از آخرین کشتی غول‌پیکر تجارتی شرکت ی. ک. برونل[1] به نام $GreatEastern$ که کار دیگری هم نداشت استفاده شد. عملیات گذاردن نخستین کابل به علت پاره شدن آن متوقف شد. سال بعد، نه‌تنها دومین کابل با موفقیت گذاشته شد بلکه کابل نخست را هم توانستند بیابند و آن را از عمق ۳۲۰۰ متری بالا آورند و به قسمتی که هنوز به آب انداخته نشده بود وصل کنند. در پایان سال ۱۸۶۶ هر دو کابل تلگرافی زیردریا بین دوقاره به‌کار گرفته شدند.

این دو خط کابلی، بدون تردید مهمترین کار فنی سدهٔ نوزدهم است. به‌دنبال آنها بیدرنگ در همهٔ بخشهای جهان شبکه‌های زیردریایی خطوط تلگرافی برقرار شد.آقای مونتوریول اظهار می‌دارد که در ۱۹۱۴ تعداد ۲۵۸۳ کابل زیردریا وجود داشت که مجموع طول آنها به ۵۳۹۲۴۶ کیلومتر می‌رسید.

با شروع بهره‌برداری از این خطوط طویل، احساس شد که کیفیت جریان و حساسیت دستگاههای گیرنده باید بهبود یابند. در مورد کیفیت جریان، می‌بایست با ابداع وسیله‌ای برای نگاهداری خط در حالت برقی پایدار، و درعین‌حال به‌حداقل رسانیدن بارهای برقی، با گذاردن خازنها و منابع دارای ولتاژ ضعیف در دو سر خط اقدام کرد. بررسی پدیده‌های انتشار، نشان داد که ارسال نامنظم تلگراف، که در آن بازگشت به حالت خنثی یا با بار برقی دارای علامت مخالف مهلتی لازم است، مانع دریافت رضایتبخش است. آقای پیر پیکار فرانسوی در طی سالهای ۱۸۹۰ـ۱۹۱۰ باکوشش برای بهتر کردن تلگراف چندگانه بین مارسی و الجزیره به راه‌حلهای خوبی دست یافت. اصول نظرات وی شامل حفظ رسانا در یک بار ثابت و تغییر دادن جهت بار از یک تلگراف به دیگری بود. اتصالات ویژه‌ای امکان به‌کارگیری وسایل دریافت با رمز معمولی بودو را ممکن ساختند.

دربارهٔ حساسیت گیرنده‌ها، از همان آغاز کار ارتباط با کابلهای زیر دریا به سیستمهای

1. I. K. Brunel



شکل ۲۶.دستگاه Siphon-Recorder آقای ویلیام تامسن.
یک قاب متحرک، شبیه گالوانومتر آستاتیک (ناپایدار)، حامل قلم خط‌اندازی است که میلهٔ سیفونی که در یک دوات فرو می‌رود آن را تغذیه می‌کند. این قلم، رمزهای دریافتی مورس توسط قاب متحرک را تقویت و ثبت می‌کند.

فزونسازی علامتها توسط قاب گالوانومتری و بازوی رسام علایم، نظیر وسایل اختراعی ویلیام تامسن، گیرندهٔ آینه‌دار ۱۸۶۰ و «سیفون ـ رکوردر» ۱۸۶۷ ساختهٔ آقای کارپانتیه (شکل ۲۶)،روی آوردند. گیرنده‌های دیگری نیز که علایم را با برابری بیشتری رسم می‌کردند، بعدها برای انتقال خودکار از زیر دریا پیشنهاد شدند که از آن میان گیرندهٔ آقای جان میورهد[1] بود که در همان زمان ساخته شد، و نیز گیرندهٔ آقای زورین لوریتسن[2] در ۱۸۸۰ که نوعی اقتباس بسیار حساس از طرح آقای چارلز وینستون بود که چند سال پیش از آن برای فواصل معمولی پیشنهاد کرده بود. کمی پس از آن، راه‌حلهایی پیش کشیده شدند، مثلاً آنهایی که آقای پیکار برای تلگراف با کابل زیر دریا طرح کرده

1. J. Muirhead 2. Severin Lauritzen



شکل ۲۷.نوار سوراخ شدهٔ سیستم مخابرهٔ خودکار ویتستون.
این علامتهای مورس از چپ به راست خوانده می‌شوند:

$a.t.h.e.a, ele.$

بود، که دستگاههایی بودند که یا علایم هیوز را یک بار چاپ می‌کردند، یا علایم بودو را چند بار.

انتقال خودکار: در زمانی‌که نخستین اقدامات برای ارتباط از راههای بسیار دور، از زیر دریاها و اقیانوسها انجام می‌گرفت، تلگراف به یک فضای تحقیقی وارد شد تا شماری از دشواریهای ناشی از سالهای اولیه را برطرف سازد. در آغاز، تلگراف کردن با دست و برای مخابره پیاپی پیامها در یک جهت خط انجام می‌گرفت، سپس در جهت دیگر، و ارسال پیام هیچ، ردی از خود نمی‌گذاشت. اما بزودی، تکنسین‌ها دست به‌کار کاهش و حتی رفع نقایص شدند.

نخستین مسأله‌ای که حل شد، آماده‌سازی پیامها روی نوار سوراخدار بود تا اینکه این نوارها به یک دستگاه مخابره، که سریعتر از انواع دستی عمل می‌کند، داده شود. این کار را آقای الگزاندربین در ۱۸۴۶ با طرح نخستین سوراخ کننده برای ثبت قبلی پیامها به مورس و فرستندهٔ مربوط انجام داد. علایم شکل بهتری یافتند و اپراتور یک نسخهٔ پیام جهت مخابره دریافت می‌داشت که غلطهای احتمالی آن را درست می‌کرد.

اما مخابرهٔ خودکار، در آغاز بسیار دشوار بود. کارکردن با دستگاههای اولیه بسیار ظریف بود و مشکلات برقی و مکانیکی فراوان. راه‌حلهایی هم که پیشنهاد می‌شدند و عمدتاً مربوط به سیستم گیرنده، فراوان بودند. نوار کاغذی به‌عنوان پایهٔ کلی پذیرفته شد. سوراخ‌کاری آن با یک دستگاه منگنه‌کاری یا سنبه انجام می‌گرفت که یک ردیف نقطه و خط ایجاد می‌کرد. اما ردیفهای دیگری نیز مورد استفاده قرار گرفتند، مانند سیستم ویتستون ۱۸۷۳ که از دو ردیف سوراخهای ریز، که از دو سوی خط ایجاد شده بودند، تشکیل می‌شد(شکل ۲۷).این سیستم سوراخ‌کاری، حرکت نوار در فرستنده را تأمین می‌کرد و نزدیکی یا جدایی بین سوراخهای جانبی، علایم الفبایی مورس را بیان می‌کردند. آقای ویتستون از یک دستگاه سوراخ‌کن مجهز با سه شستی برای: نقطه، خط، فاصله ـ استفاده کرد.

سوراخکاری با شستیها در بیست سال پیش از این برای جانشینی نخستین وسیله‌ای که زیاد عملی نبود طرحریزی شده بود. سیستم کلیدها بی‌درنگ در فرستنده‌ها به‌جای دستگاههای اصلی

مورس به‌کار گرفته شد. این دستگاهها مکانیسم بسیار پیچیده‌ای در سالهای ۱۸۵۰ـ۱۸۶۰ داشتند و برای هر حرف الفبای مورس یک کلید داشتند. دیدیم که در ۱۸۵۶ آقای دیوید هیوز تلگراف چاپی خود را که برای هر حرف الفبای رایج، یک کلید داشت، اما برپایهٔ مکانیکی دیگری کار می‌کرد. اختراع کرده بود.

تجهیزات دیگری مورد آزمایش قرار گرفتند که غالباً از نوار در آنها استفاده نمی‌شد، اما قسمتهای استوانه (دستگاه مارکفوا[1] و گارنیه[2] در ۱۸۵۵)، یا ورساد (دستگاه زیمنس در ۱۸۶۲) را داشتند که متن را با قطعات کوچک فلزی روی آنها می‌چیدند، و این برجستگی توسط اهرم فرستنده برای پخش علامات مورس مربوطه، کشف می‌شد.

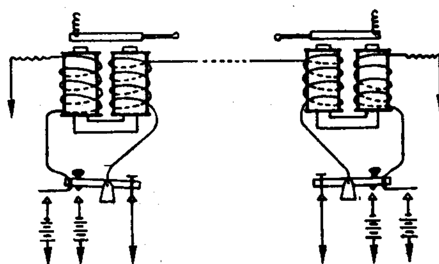
این نوار کاغذی، رایجترین پایهٔ به‌کاررفته باقیماند. سوراخ‌کاری این نوار بر اثر دخالت یک وسیلهٔ بادی که ابتکار آقای کرید[3] در ۱۸۹۸ بود، سپس با استفاده از وسایل برقی، بهتر شد. ارسال خودکار بسرعت در دستگاههای چاپ کنندهٔ ساده، سپس دستگاههای چندگانه به‌کار گرفته شد. بعضی از دستگاههای گزینشی، از سیستم میله‌دار ژاکار، ویژهٔ بافندگی، الهام گرفته شده بودند. دستگاه دانلدماری[4] که مربوط به سال ۱۹۰۳ می‌باشد نوع خودکار شدهٔ سیستم بودو با پنج نقش بود که بعداً دربارهٔ آن سخن خواهیم گفت.

مخابرهٔ همزمان: پس از گذشت مدت کمی از نخستین آزمایشهای مخابرهٔ خودکار، تکنسین‌ها بر آن شدند تا از روی‌هم قرارگرفتن جریانها در یک خط برای مخابرهٔ همزمان چندین پیام استفاده کنند. آقای ویلهلم یولیوس گینتل[5] وسیله‌ای طرح کرد که امکان مخابرهٔ همزمان پیامها را در جهات متقابل با یک خط، بین دو پست تأمین می‌کرد (شکل ۲۸). این وسیله، پایهٔ سیستم دوپلکس شد که تا بیست سال بعد یعنی تا زمانی‌که کارهای آقای جوزف بارکر استیرنز[6] امریکایی دقت کافی در مخابرات را ایجاد نکرده بود به‌طور واقعی به‌کار گرفته نشد.

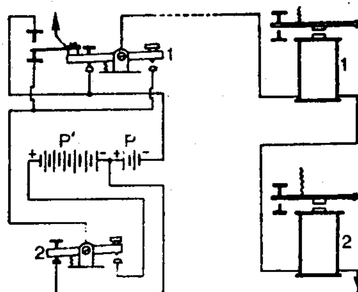
در همین حین آزمایشگران مختلفی، از آن‌جمله ادیسن، دستگاههایی ساختند که می‌توانست به‌طور همزمان دو پیام را در یک جهت از یک پست ارسال دارد (شکل ۲۹). این را سیستم دیپلکس می‌نامند که مونتاژ آقای ادیسن در ۱۸۷۴ عموماً در آن به‌کار گرفته شده بود. بعدها دوپلکس کردن دیپلکس نیز ممکن شد و توانستند مخابرهٔ همزمان دو تلگرام در هر جهت، کوادروپلکس، را فراهم سازند.

با به‌کار گرفتن شکلهای دیگر جریان، مخابرهٔ دیپلکس را به مولتی پلکس بسط دادند، یعنی

1. Marqfoy 2. Garnier 3. Creed 4. Donald Murray 5. W. J. Gintl 6. J. Barker Stearns



شکل ۲۸.اصول سیستم دوپلکس گینتل.
یک مدار محلی که توسط یک جعبهٔ مقاومت تنظیم شده است، یکی از سیم‌پیچها را تغذیه می‌کند و اثر را روی آرماتور مدار خط شامل سیم‌پیچ دوم متعادل می‌سازد. کار دستگاه مانیپولاتور، این تعادل را برهم می‌زند.



شکل ۲۹.اصول سیستم دیپلکس.
کار دستگاه فرستندهٔ ۱: پیل P را وارد مدار می‌کند؛ کار دستگاه فرستندهٔ ۲: پیل P′ را وارد مدار می‌کند. این ارتباطات برای این برقرار می‌شوند تا فرستندهٔ ۱ تنها گیرندهٔ ۱ و فرستندهٔ ۲ گیرندهٔ ۲ را توسط جریانی قویتر از آنکه اگر هر دو مدار در یک زمان عمل کنند، یا عمل یک جریان معکوس، اگر فرستندهٔ ۱ در استراحت باشد، به‌حرکت آورد. دستگاههای فرستنده، در سمت چپ، و گیرنده‌ها، در سمت راست تصویر دیده می‌شوند.

همزمان چندین پیام را در یک جهت مخابره می‌کردند. پایهٔ این نوآوری در کارهای کشیش لابورد[1] دیده می‌شود که در سال ۱۸۶۰ نشان داد که می‌توان روی یک خط، چندین جریان موج‌واره فرستاد بدون اینکه در یکدیگر تداخل کنند. هر جریان با لرزش یک تیغه در پست فرستنده ایجاد می‌شود و در پست گیرنده توسط یک تیغهٔ لرزندهٔ مطابق تیغهٔ نخست گرفته می‌شود. با این دستگاهها توانستند به‌طور همزمان روی یک خط چندین تلگرام ارسال دارند، که در پست گیرنده، هرکدام مجزا گرفته می‌شدند. کاربرد واقعی جریانهای لرزنده، تا پانزده سال پس از این تاریخ شروع نشد.

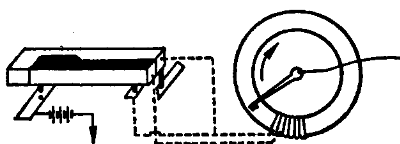
چندین مهندس حدود سال ۱۸۷۵ با این مشکل دست و پنجه نرم کردند و هرکدام به راه‌حلهایی مشابه یکدیگر اما متفاوت رسیدند. در این مرحلهٔ پایانی، آقای ایلایشه‌گری تلگراف هارمونیک خود را ایجاد کرد و نیز آقای ارنست مرکادیه[2] بررسی حفظ الکتریکی لرزشهای دیاپازونها و ساخت دستگاههایی را که آنها را مولتی پلکس نامید شروع کرد و مدت بیست سال به تکمیل آنها مشغول شد. تأثیر اختراع تلفن در ۱۸۷۶ در کارهای مرکادیه متجلی شد، که گوشی تلفن را طرح کرد که یک صدای اصلی، ویژهٔ هر دستگاه گیرنده، با تحمیلهای جریان موج‌واره متناسب با بسامد آن تقویت می‌شد.

جنبهٔ دیگری از تحقیقات این دوران، برای ساخت سیستم همزمان سوارکردن جریانهای لرزنده روی جریانهای مستقیم در یک خط بود بدون اینکه با یکدیگر مخلوط شوند. دستگاههای پیشنهادی در سال ۱۸۷۰ توسط آقای کرامول وارلی و بعد از طرف دنبال کنندگان راه وی بمدت بیش‌از سی‌سال تکمیل شد و مثلاً دستگاههای آقای پیرپیکار، مشتمل بودند بر یک فرستندهٔ معمولی با جریان مستقیم؛ دستگاه فرستندهٔ مورس یا هیوز؛ و سیستمهای فرستنده و گیرنده با جریانهای لرزنده؛ که هر سازنده، آن را به نوعی مونتاژ کرده بود.

مخابرهٔ چندگانه: روش دیگری از ثبت تلگراف در همین ایام بررسی، و از دهه‌های پایانی سدهٔ نوزدهم به‌کار گرفته شد. در این روش، سوارکردن جریانهای مختلف روی یک سیم مطرح نیست، بلکه استفاده از یک حالت برقی خط برای ارسال چندین پیام است، که حروف آنها در میان یکدیگر جای می‌گیرند. هر اپراتور، بخشی از زمانی را که اپراتور دیگر برای آماده کردن علامت آینده لازم دارد، برای ارسال علامت موردنظر خود به‌کار می‌گیرد؛ بدین‌ترتیب از تفاوت بین دو سرعت انتقال برقی و انتقال کار با دست، برای زدن کلیدهای یک دستگاه کلید، استفاده می‌شود و زمانهای خالی با علامتهای جایگزین متعلق به پیامهای گوناگون پر می‌کنند.

این سیستم در زمانهای بسیارگذشته (۱۸۵۲)، توسط آقای روویه[3] مهندس فرانسوی پیشنهاد

1. Laborde 2. E. Mercadier 3. Rouvieh

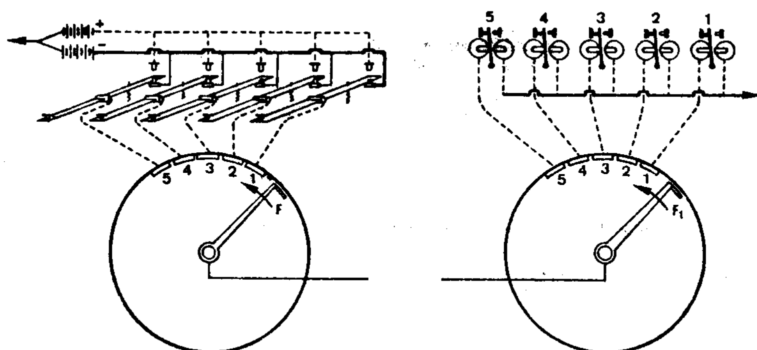


شکل ۳۰.اصول سیستم فرستادن چندگانهٔ میبر.
در چپ: دو کلید از هشت کلید، یکی سیاه و دیگری سفید. در راست: مقسم با هشت کنتاکت مربوطه و گرد آورگردان. حلقهٔ سمت راست، حامل چهار یا شش ردیف از هشت کنتاکت، برحسب عدهٔ دستگاههای کلید ماشین است.

شده بود. جاروب کردن ردیفی از کنتاکتگرهای متعلق به کلیدهای چندین دستگاه کلید، بوسیلهٔ آونگی انجام می‌گرفت که نوسانهای آن با برق حفظ می‌شد ـ نوسانهایی که با نوسانهای آونگ پست گیرنده همزمانی داشتند. اصول جاروبکاریهای همزمان، که در تکنیک آن زمان تلگراف، یک نوآوری به‌شمار نمی‌آمد بیست سال بعد به‌شکل دیگری توسط برنارد میبر مورد استفاده قرار گرفت؛ و چنین دستگاههایی برای نخستین بار، در ۱۸۷۲ بین پاریس و لیون به‌کار گرفته شدند.

قطعهٔ اصلی دستگاه میبر، جعبهٔ تقسیم آن بود که از چند کنتاکتگر تشکیل می‌شد که روی حلقه‌ای ردیف شده بودند، یک گردآور (کولکتور) که روی آن می‌گردید، پیاپی هر یک از آنها را در کنتاکت با خط قرار می‌داد (شکل ۳۰).این دستگاه با چهار یا شش دستگاه کلید که هر یک هشت کلید ـ چهار سیاه و چهار سفید داشتند تکمیل می‌شد. کلیدهای سفید علامت مربوط به خطوط الفبای مورس و کلیدهای سیاه، نقطه‌ها رامی‌زدند. یک میلهٔ گردان در طول میز مایل حامل چهار یا شش دستگاه کلید اپراتور قرار داده شده بود تا ردیفی از بادامکها را یک چهارم یا یک ششم زمان موجود با یکدیگر اختلاف داشتند فعال سازد؛ این بادامکها به اپراتور علامت می‌دادند که زمان مخابرهٔ متن مورد نظر وی فرارسیده است و می‌تواند روی کلیدها فشار آورد.

دستگاه گیرنده چند سال پیش از این توسط میبر برای یک دستگاه تلگراف خودکار طرحریزی شده بود که بعداً درباره آن سخن خواهیم گفت. یک نوار کاغذی زیر یک قلم حرکت می‌کرد و می‌توانست به‌طور جانبی جابه‌جا شود و حروف را با رمز مورس زیر یکدیگر رسم کند. این دستگاه، چهار یا شش بار، بسته به اینکه به‌نوع کوادروپل یا سکستوپل تعلق داشته باشد تکرار می‌شود. هر نوار دربرابر قلم خود با همان ضرباهنگ حرکت دستگاه در پست فرستنده، حرکت می‌کند. نظم این ضرباهنگ را یک آونگ مخروطی روی هر دستگاه، تأمین می‌کند. طبعاً، دستگاههای دیگری



شکل ۳۱.اصول کار مخابره در سیستم بودو.
در چپ: فرستنده دستگاه شش کلیدی و مقسم آن. در راست: گیرنده با مقسم آن و پنج مغناطیس برقی. روی هر مقسم، گروه پنج‌تایی کنتاکت ۲، ۳، ۴ یا ۶ بار برحسب نوع ماشین تکرار شده‌اند.

از قبیل مکانیسم ساعتهای گرانشی، وسیلهٔ تصحیح همزمانی روی چرخهای اتصال آونگ مخروطی و حرکت این مکانیسم ساعتی و غیره. مؤثر در این کار هستند.

مخابرهٔ چندگانه چاپ شدنی: دستگاه آقای میبر در خلال سالهای ۱۸۷۰ تا ۱۸۸۰ در فرانسه و چند کشور دیگر اروپایی فعال بود، درحالی‌که سیستمهای دیگری، ازجمله سیستم دلانی[1] در انگلستان، برپایه‌های دیگری کار می‌کردند. اما آنها بزودی دچار رقابت دستگاه آقای امیل بودو شدند که در سال ۱۸۷۴ طرحریزی شده بود و در طی بیست سال دستخوش تکمیلهای پیاپی بود. دستگاه بودو که تقریباً مورد پذیرش عموم قرارگرفته بود، پس از مرگ مخترع آن، به انواع دیگری امکان خودنمایی داد.

هدف بودو این بود که فرستندهٔ چندگانه را با چاپ پیامهای دریافتی مجهز کند. وی از اصول بنیانی آقای میبر برای ساخت همراه با وسایل کارآمدتر و نسبتاً ساده‌تر مکانیکی، ارسال وگرفتن پیام استفاده کرد: دستگاههای کلید، مقسم با گردآور (کولکتور) همزمان (شکل ۳۱). قسمت دیگری نیز به دستگاه افزوده شد که در آغاز آن را ترکیب کننده و سپس ترجمان نامیدند.

سیستم بودو که بمنظور چاپ روشن پیامها ساخته شده بود توانست در فرستادن پیام الفبای مورس را رها کند و برای ساده کردن وسایل تلگراف چاپ‌کنندهٔ هیوز، این مخترع، با الهام از رمزهای

1. Delany

MAIN GAUCHE						MAIN DROITE		MAIN GAUCHE						MAIN DROITE
V	IV			I	II	III		V	IV			I	II	III
		A	1	●				●	●	P	%	●	●	●
	●	B	8			●		●	●	Q	/	●		●
	●	C	9	●		●		●	●	R	-			●
	●	D	0	●	●	●		●		S	;			●
		E	2		●			●		T	!	●		●
		E	&	●	●					U	4	●		●
	●	F	F		●	●		●		V	'	●	●	●
	●	G	7		●			●		W	?		●	●
	●	H	H	●	●			●		X	.		●	
		I	O		●	●				Y	3			●
	●	J	6	●				●		Z	:	●	●	
●	●	K	(	●				●		!	.			
●	●	L	=	●	●			●	●	*	*			
●	●	M	)		●				●	BLANC de CHIFFRES				
●	●	N	N°		●	●		●		BLANC de LETTRES				
		O	5	●	●	●								

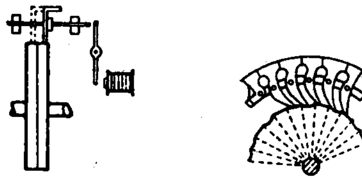
شکل ۳۲.رمز پنج نقشی بودو.

تلگرافی که پیش از وی آزمایش شده بودند، نوعی رمز با پنج نقش طرح کند که به وی امکان می‌داد تا ۳۲ علامت گوناگون را ارسال دارد (شکل ۳۲).اما وی بیش‌از ۳۱ علامت را مورد استفاده قرار نداد و دو علامت از آنها، سفید عدد و سفید حرف به وی امکان می‌داد که به‌هر علامت دیگری، همزمان یک حرف و یک عدد یا یک علامت نقطه‌گذاری همراه کند، با جابه‌جا کردن سفیدها در ترجمان یک قسمت، چرخ حروف، یا حروف را چاپ می‌کرد یا اعداد و علامتهای نقطه‌گذاری را.

دستگاه پنج کلیدی بودو، فرستنده‌اش ساده‌تر از دستگاه هشت کلیدی میبر بود. وانگهی ترجمان و چاپ، کار را سرعت می‌دادند.

آقای بودو نخست یک سیستم شش نقش را آزمایش کرد که ۶۳ ترکیب آن به وی امکان می‌داد که یک چرخ چاپ مشابه چرخ هیوز را فعال سازد. اما در سال ۱۸۷۶ او دستگاه پنج کلیدی را پذیرفت که، تعداد کافی ترکیب را در اختیار وی می‌گذاشت. او در ۱۸۷۹ نخستین دستگاه را بین پاریس ولیون از نوع کوادروپل تأسیس کرد؛ یعنی چهار فرستنده می‌توانست تقریباً همزمان با چهار کلید، که هر یک‌به‌یک سکتور از مقسم فرستنده و نیز دستگاه گیرنده مربوط بودند، کار کنند.

گرچه دستگاههای اخیر پس از اندک مدتی از چند نظر ساده شدند، دستگاههای ترجمان بویژهٔ تحول بسیاری داشتند. نخستین آنها برقی بود درحالی‌که بقیه به‌طور مکانیکی فعال، و رفته‌رفته ساده‌تر شدند (شکل ۳۳). ترجمان، اساساً در پایان کار از دو دیسک گردان مرتبط به یکدیگر تشکیل می‌شد و این قاچها تورفتگیها و برجستگیهایی داشتند که طبق منطقی که یک تورفتگی دیسک اول، همیشه با یک برجستگی دیسک دوم مربوط می‌شد با یکدیگر ترکیب می‌شدند. پنج



شکل ۳۳.اصول دستگاه ترجمان بودو.
در چپ: نمای قاچی دو دیسک؛ در بالا: چشم‌انداز حرکت جانبی و ممکن لمس کننده‌ها؛ در راست: نمای جانبی دیسکها و پنج لمس کننده‌ای که با قاچ یکی از دیسکها اصطکاک دارند.

اهرم این قاچها را لمس می‌کردند و خود این اهرمها بوسیلهٔ رله‌های گیرنده به‌طور جانبی چنان جابه‌جا می‌شدند که بعضی از آنها دورهٔ دیسک نخست و بقیه دیسک دوم را لمس می‌کردند. این نوع تقسیم متناسب با علامتهای دریافت شدهٔ رمز آقای بودو بود و زمانی‌که این پنج لمس کننده جملگی در یک زمان در بالای یک تورفتگی این یا آن دیسک بودند، همگی پایین می‌آمدند و علامتی از گردونهٔ حروف را به چاپ می‌رسانیدند.

دستگاه بودو بوسیلهٔ مخترع آن و سپس پیروان وی پیوسته در تکامل بود. این دستگاه به شکلهای دوبل، تریپل، کوادروپل و سکستوپل مورد استفاده قرار گرفت. در دستگاههای اصلی فرستنده‌ها، مقسمها و ترجمانها با عناصری دیگری ـ رله‌های گیرنده، تنظیم‌کننده‌ها، متعادل کننده‌های سرعت، فرستنده‌ها و بازفرستنده‌های خودکار ـ تکمیل شدند. دستگاههای اخیر ابتکار آقای ژول کارپانتیه در ۱۹۰۳ (سال مرگ بودو) بود. موفقیت کلی این دستگاهها، به‌طور عمده مدیون این مکانیسین فرانسوی است که پایه‌گذار اصول اختراعات الکترومکانیکی در این دوره در فرانسه بود.

سیستم بودو توانست با ارسال دوپلکس و دیپلکس در سه شهر، باباز فرستادن چندگانه، با بهتر کردن خصوصیات انعطاف‌پذیری و سرعتی که در پذیرش آن تقریباً در همه کشورها ایجاد شد، تطبیق داده شود. در ممالک متحدهٔ امریکا، دستگاه داندماری که اصول کار آن با سیستم بودو بسیار متفاوت بود در سال ۱۹۱۲ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. این دستگاه همچنین از رمزی دارای پنج نقش، اما کاملاً متفاوت با بودو، استفاده می‌کرد. وسیلهٔ خاصی که ابتکار آقای ماری بود تطبیق آنها را به یکدیگر، برای اینکه بتوانند با هم پیام ردوبدل کنند، ممکن ساخت.

تحول سیستم بودو: همان‌طورکه دیدیم، آقای بودو، پیش از آنکه به حرف بیندیشد به یک رمز الفبایی دوتایی می‌اندیشید که علامتهای آن از پنج خرده (bit) اطلاعاتی که زمان برابری داشتند،

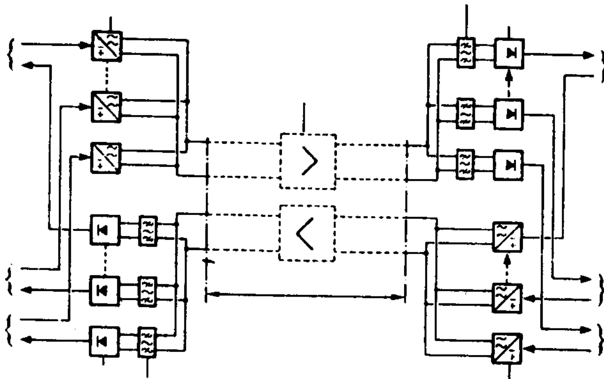
ترکیب می‌شدند. با این نخستین مولتی پلکس با ضربه‌های رمزی، ضربهٔ ترکیبات رمزی بر یک دستگاه پنج کلیدی، هنوز مستلزم این بود که اپراتورها از پیش ماهها کارآموزی کنند. سیستم بودو در اکثر خطوط جهانی از ۱۸۹۰ تا ۱۹۳۰ به‌کار گرفته می‌شد. این سیستم که در فرانسه تا سال ۱۹۵۴، با همان شکل اولیهٔ خود فعال بود در انواع Western Electric Cy، ماری و زیمنس با افزایش قسمتهایی نظیر دستگاه کلید رمزی کننده و سوراخ‌کنندهٔ نوار پنج ردی، یا بازهم با ترجمانی که مستقیماً روی کاغذ چاپ می‌کرد، تکمیل شد.

بااین‌حال برای نزدیک کردن کاربرد تلگرافی به ماشین‌نویسی و در دسترس قرار دادن آن به استفاده‌کنندگان، لازم بود که اپراتور از ضرباهنگ تحمیلی بوسیلهٔ همزمانی مولتی پلکس آزاد باشد. راه‌حل این مسأله با دستگاه چاپ عددی از دور بود که در مدت نخستین جنگ جهانی توسط شرکت Morkrum شیکاگو که چند سال بعد به TeletypeCo تغییر نام داد ساخته شد. با این دستگاه، بازده مدار تا حدودی فدای سهولت کار آن شد. اما کار چاپ از دور، تنها در سال ۱۹۲۸ یعنی زمانی به موفقیت حقیقی رسید که،تلگراف به‌اصطلاح هارمونیک، یعنی مولتی پلکسی کردن بسامدی روی مدار حامل تلفنی، پیدایش راههای متعدد و مستقل، و ارزانتر از تلفن، در صورت افزایش فاصله، را ممکن ساخت. (شکل ۳۴).

مشخصات کنونی دستگاه چاپ از دور: برای پاسخگویی به کاربردهای ویژه، چند نوع دستگاه چاپ از دور، اکنون با الفبای شش، هفت و حتی هشت نقشی کار می‌کنند. با این حال، دستگاههای نسبتاً جامع فعال در جهان، مناسب الفبای پنج نقشی هستند که رواج یافتند. این نوعی الفبای معکوس است ـ روشی که دو ترکیب ویژه، معنی علامتهای دیگری را که تعقیب می‌کنند، دو برابر می‌کنند.

بدین‌ترتیب، ردیفی از «حروف» که عملاً به ۲۶ حرف معمولی محدود می‌شد، و نیز ردیفی از «اعداد» که آنها نیز علامتهای اصلی نقطه‌گذاری و دو هشدار می‌باشند به‌دست می‌آید. هشدارها عبارتند از: اورژانس، برای آگاه ساختن طرف تلگراف؛ و راه‌اندازی دستگاه تشخیص هویت دستگاه مقابل، به‌شرطی که آن طرف هم مجهز به چنین دستگاهی باشد.

در نبود مقررات واحد برای کلیدهای دستگاه ماشین تحریر، دستگاههای چاپ از دور، انواع گوناگونی دستگاه کلید رایج در هر کشور را دارند، اما این کار به‌ضرر یکسان شدن علامتهای رمز است. برای ارتباط گرفتن با زبان الفبایی یکسان، دودستگاه باید همچنین سرعتی محسوساً برابر داشته باشند تا اینکه لازم نباشد طرفین احتیاطهای ویژه‌ای را رعایت کنند. کمیتهٔ مشورتی جهانی



شکل ۳۴.اصول تلگراف هارمونیک.
چندین پیام، در شکل بالا ۲۴ پیام، به‌طور همزمان و در دو جهت بین دو پست مرتبط فقط با دو جفت سیم، هر جفت برای یک جهت، مبادله می‌شوند. این مدار که تلفنی عمل می‌کند، ممکن است با تکرارکننده‌های میان راهی، علایم را به تناسب فاصله تقویت کند. برای اینکه علامتهای ۲۴ راه در یکدیگر دخالت نکنند، در شروع ارسال با تحمیلگرهایی که جریان مستقیم خارج شده از میکروفونها را به جریانهای متناوبی که هریک دارای بسامد ویژهٔ راه خود هستند تبدیل می‌کنند، کد گذاری می‌شوند. در پست گیرنده با کمک رفع تحمیلگرها، پس از حذف بسامدهای راههای دیگر، عمل معکوس انجام می‌گیرد.

تلگراف و تلفن (CCITT)، دربارهٔ شرایط طرزکار و به‌کارگیری دستگاه چاپ از دور با پنج نقش، سفارشهایی کرده است. این توصیه‌ها که ادارات مربوطه با دقت فراوان آنها را رعایت می‌کنند، عملاً قواعد لازم جهت اتصال درونی شبکه‌های جهانی تلگراف هستند. احترام گذاردن به این قواعد، اساس پیشرفت جهانی شبکهٔ تلکس است.

این قواعد، مانع تنوع بسیار زیاد راه‌حلهای فنی مورد قبول سازندگان نشده است، اما در اصول طرزکار آنها یکسانی دیده می‌شود.

جابه‌جاگری و شبکهٔ تلکس: تلگراف از آغازکار خود ناچار از رسانیدن هرچه مستقیمتر پیامها به مقصد بود. مکانیسم این ارسال با کمک مورس و دستگاههای همزمان، شامل ثبت خبرها روی نوارهای سوراخدار و فرستادن آن به پست بعدی و بعدی‌تر ... بود. این تکنیک که نام غیر دقیق جابه‌جاگری پیام را دارد رفته رفته آن‌قدر تحول یافت تا به مرحلهٔ کنونی مراکز انتقال یعنی مراکزی رسید که مجهز به کامپیوترهایی هستند که باز فرستادن مجموعهٔ تلگرافهای رسیده را تأمین می‌کنند.

این کار، نوعی روش سه پستی است: نقش اصلی کامپیوتر، سوق تک‌تک هر پیام در جهت درست است، با در نظر داشتن مقصد و درجهٔ فوریت آن ـ روشی که بر این فرض استوار است که همهٔ پیامها، در قطعی مطابق با قواعد بسیار اکید، به‌اصطلاح «بسته‌بندی» می‌شوند ـ این کار بویژه برای کد گذاری آدرسهای گوناگون انجام می‌گیرد. جابه‌جاگری پیامها این امتیاز را دارد که راههایی را می‌گشاید که سرعتهایی متناسب با تراکم ترافیک بین هر مرکز را ممکن می‌سازند. این روش همچنین ارسال پیامها به آدرسهای متعدد را آسان ساخته است، اما برای تماس مستقیم دو طرف جهت مبادلهٔ نوشتاری نظرات (تقاضا و پاسخ) آماده نیست و علاوه‌بر آن ناگزیر از پرداخت وجهی مناسب تلگراف برای ارسال پیام است.

طرح مقابل، جابه‌جاگری مدارها، در تلگراف زمانی پدید آمد که دستگاه چاپ کننده از دور و عددی ساخته شد که هر لحظه آمادهٔ کار است و برای تماس مستقیم دو طرف، به آماده‌سازیهای ویژه، نیاز ندارد.

با پیدایش نسبتاً اخیر شبکهٔ تلکس در بیشتر کشورها امکان اتصال موقتی و به‌شرط تقاضای دو مشترک صاحب دستگاه چاپ از دور با پنج نقش و طرزکار با سرعت ۵۰ باند (واحد سرعت فرستنده، هر باند = یک نقطه مورس در ثانیه) وجود دارد. این کار در یک شبکهٔ با جابه‌جاگری مدار انجام می‌گیرد که در آن هر ارتباط به تناسب مدت و فاصلهٔ ارتباط، شبیه تلفن، نرخ‌گذاری شده است.

این تکنیک جابه‌جاگری، در شبکه‌های ملی مختلف با یکدیگر تفاوت آشکار دارند. بویژه بر پایهٔ کهنگی سیستم پذیرفته شده، شماره‌گیری، یا در صفحهٔ حروف تلفنی، یا در دستگاه کلید چاپ کنندهٔ از دور انجام می‌گیرد.

مؤسسه CCITT با این همه موفق شد برای علامت‌دهی قواعدی کلی تنظیم کند که روابط میان شبکه‌های ملی را آنچنان ساده سازد که ترافیک نسبتاً کلی مبادلات بین ۲۵۰۰۰۰ مشترک که در سال ۱۹۷۰ ثبت نام کرده بودند توسط گزینشی کاملاً خودکار انجام می‌گیرد. زمانی‌که مخاطب حضور ندارد، ارتباط با تأخیری از ده تا سی ثانیه برقرار می‌شود.

همهٔ دستگاهها، الزاماً فرستنده‌های خودکاری دارند که مجهز به دستگاهی هستند که مخاطب را از دور تشخیص می‌دهند. پیامی که از مبدأ می‌رسد بدین‌ترتیب می‌تواند در محل، در لحظه فراغت از کار روزانه دریافت شود. برخلاف تلفن که شخصی باید برای برداشتن گوشی حضور داشته باشد، خدمات تلکس از این عیب آزاد است.

شبکهٔ تلکس با وجود سرعت محدود خود، چهار صد حرف در دقیقه، وسیلهٔ ارزشمندی برای همهٔ کسانی است که روابط کاری با فواصل دور از یکدیگر دارند. این شبکه همچنین تبادل مستقیم پیامها یا اطلاعات بین اپراتورها و کامپیوترها را ممکن ساخته است، اما چنین روابطی ناگزیر، به‌علت سرعت کم کلید زنی توسط اپراتور، بکندی انجام می‌گیرد.

مخابرهٔ عکس از راه سیم: در خلال سالهای ۱۸۵۰ـ۱۸۸۰ برای مخابره کپی اسناد دست‌نوشته با سیم کارهایی شد. این دوران نخست؛ با آزمایش کاربرد دستگاههایی که نمی‌توان آن را ندیده گرفت پایان گرفت؛ اما این آزمایش، به‌علل فنی حتی به‌طور جزئی هم دنبال نشد زیرا این عملیات تلگراف دست‌نوشته‌ها، مورد نیاز مردم نبود. روشهای گوناگونی که همگی برپایهٔ اصول مشابهی بودند، تنها امکان مخابرهٔ اسناد نوشتاری یا ترسیمی را می‌دادند، و نه عکسهای سایه روشن. تنها پس از گذشت چندین سال بر اثر کاربرد گراوورسازی برای پخش عکسی اطلاعات بود که روش ادوارد بلن[1] برای مخابرهٔ تصویر، شرایط مساعدی برای کاربرد یافت.

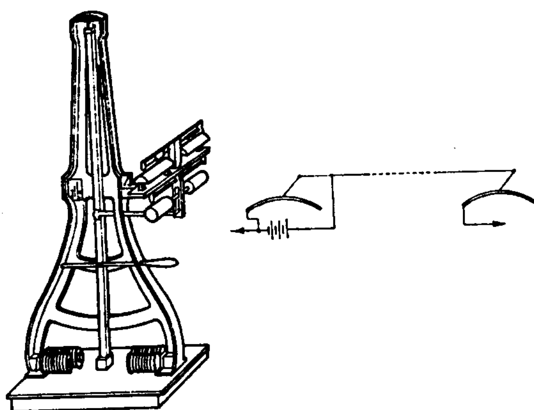
بااین‌حال،سودمندی دستگاههای نخست «خودنگار» در این بود که روشهای پیمایش یک تصویر را با وسایل مکانیکی پدید آوردند ـ اصولی که همراه با وسایل دیگر فنی، بعدها، پایهٔ پژوهشهای پیگیری برای ساخت تلویزیون شدند.

کارپیمایش روی تلگرام خودنگار در سدهٔ نوزدهم با جابه‌جا شدن یک قلم در سطح یک استوانه یا یک صفحه، یا حرکت جانبی استوانه توسط یک پیچ حلزونی و ثابت ماندن قلم، یا اینکه بالاخره با حرکت جانبی متناوب قلم و اینکه سیستمی از خار و دنده، در هر دورهٔ جابه‌جایی، میلهٔ حامل قلم را کمی حرکت می‌دهد، انجام می‌گرفت.

آنالیز و چاپ سند، در آغاز با روشهای الکتروشیمیایی انجام می‌گرفت. فرستنده، سند را با نوعی مرکب عایق روی ورقه‌ای فلزی می‌نوشت یا رسم می‌کرد. این ورقه را روی پلاتین دستگاه فرستنده می‌گذاشت و گردش قلم، جریان برق را در لحظهٔ گذر از بخشهای مرکب‌مالی شده در خط، قطع می‌کرد. در پست گیرنده، از کاغذی آغشته با فروسیانات پتاسیم استفاده می‌شد و نوسانات همزمان قلم دستگاه گیرنده، سند مزبور را به رنگ سفید در زمینه‌ای آبی چاپ می‌کرد.

آقای بک‌ول[2] انگلیسی از این وسایل در سال ۱۸۵۱ استفاده کرده بود، اما به‌دلایل گوناگون فنی، کیفیت چاپ بسیار بد بود. کمی پس از وی آقای جووانی کاسلی[3] ایتالیایی با موفقیت بیشتری روبه‌رو شد. دستگاههای «پانتلگراف» وی مجهز به آونگهایی بودند که نوسانهای آنها، که در هر پست همزمان شده بودند، به کمک یک مغناطیس برقی حفظ می‌شدند (شکل ۳۵).وسایل کارآمدی

1. Belin 2. Backwell 3. Giovanni Caselli



شکل ۳۵.پانتلگراف کاسلی (Caselli)

دستگاه، بازوی نوساندارى دارد كه جابه‌جاییهای آن به حرکتهای دو قلمی فرمان می‌دهند که هرکدام یکی از صفحات را می‌پیماید. قلمها به‌کمک یک پیچ بی‌انتها که یک‌چرخ ضامندار آن را یک گام می‌گرداند، در هر دوره یک خط جلو می‌آیند.

از قبیل ترکیبی از دو قلم که بتناوب فعال می‌شدند تا در مدت برگشت، خطی اشغال ناشده باقی نگذارند، روشی از تنظیم همزمان‌سازی و نوعی معکوس کردن اثر الکترولیزی در دستگاه گیرنده. برای به‌دست آوردن اسناد به رنگ آبی در زمینهٔ سفید، آنها را قابل استفاده کرد. این وسایل در سال ۱۸۶۳ بین پاریس و لیون به‌طور مؤثری به‌کار گرفته شدند، در سال ۱۸۶۶ شمار تلگرافهای خودنگار ارسال شده به ۴۸۶۰ برگ بالغ شد و در سال پس از آن این سرویس تا مارسی امتداد یافت. در ایتالیا نیز مدت چند سال از پانتلگراف استفاده شد.اما این سرویس به‌عللی که در بالا گفته آمد. پس از مدت کمی کنار گذاشته شد؛ وانگهی هزینهٔ آن نیز بسیار بالا بود.

تکنسین‌های دیگری نیز در طی سالهای بعدی، دستگاههای تازه‌ای پیشنهاد کردند. دستگاه آقای اتین لنوار در ۱۸۶۶ و دستگاه برنارد میبر در ۱۸۷۲ در گیرندهٔ خود سیستمی متفاوت برای چاپ را به‌کار گرفتند. سیستم چاپ این دستگاه از یک قلم آغشته به مرکب که به فرمان چند مغناطیس برقی روی نوار کاغذی جابه‌جا می‌شد، استفاده می‌کرد. نوع این پژوهشها با از بین رفتن این نسل از تکنسین‌ها پایان پذیرفت.

بلنوگراف: مسألهٔ عکاسی از دور را آقای ادوارد بلن در ۱۹۰۷ حل کرد. درواقع کارهایی که دربارهٔ آنها سخن رفت با کارهای مقدماتی مربوط به عکاسی از دور بی‌رابطه نبودند. پژوهشهای آقای بلن در رشته‌های متعددی بود که بمنظور روشهای آنالیز تصویر و تبدیل علامتهای نوری به برقی صورت می‌گرفت. این دوره‌ای بود که طی آن دیسک آقای نیپکوف[1] (۱۸۸۴) و آینهٔ گردان وایلر[2] (۱۸۸۹). که بعدها در آزمایشهای اولیهٔ تلویزیون به‌کار گرفته شدند ساخته شدند؛ دستگاههای بسیار کلاسیکی، که ارسال با سیم یک سند نوشتاری را در همان زمانی‌که نوشته می‌شد ممکن می‌ساختند، مانند دستگاه آقای س. ژوردری[3] فرانسوی در ۱۸۷۸. آقای سنلک[4] نیز، مدتی برای استفاده از خواص فوتوالکتریکی (نورا برقی) در این کار، بدون نتیجه کوشید.

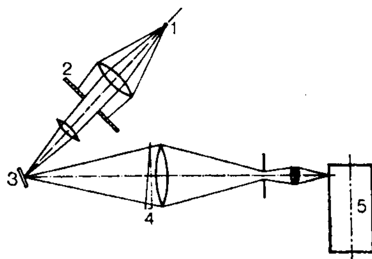
آقای بلن از چند سال پیش در روشهایی برای ارسال تصویرهای ثابت با سیم، تحقیق کرده بود. بعدها وی گویا همهٔ این تحقیقات را در خدمت روشهایی گذارد که در طی دههٔ ۱۹۲۰ برای تلویزیون به پیش می‌برد. اما موفقیتهای نخستین وی، با طرح و پیشرفت دستگاهی آغاز شد، که پیوسته تکامل می‌یافت ـ دستگاهی که عموماً با نام بلنوگراف شناخته شد.

اصالت کار بلن این بود که اندیشید که عکسی را که با ژلاتین بیکروماتی تهیه شده است به‌کمک وسیلهٔ لمس کننده‌ای که برجستگیها را تشخیص می‌دهد، آنالیز کند.

ضخامت لایهٔ حساس ثابت شده، از سفید تا سیاه تغییر می‌کرد. یک میلهٔ فلزی نازک که روی یک پایهٔ انعطاف‌پذیر نصب شده بود، برای تشخیص برجستگی به‌کار گرفته شد و جابه‌جاییهای آن، با واسطهٔ یک جعبهٔ مقاومت، جریان را در خط انتقال، که خط تلفنی بود تغییر می‌داد. بلن برای بازسازی آن در پست گیرنده، از نوسان‌نمای دو سیمی بلوندل، که بتازگی ساخته شده بود استفاده کرد، که جابه‌جاییهای آینهٔ آن، یک دسته اشعهٔ نوری را روی فیلتری با ضخامت کاهش یابنده، که بلن آن را ردیف رنگها می‌نامید، می‌فرستاد و تغییرات شدت روشنایی مربوط به تصویر فرستاده شده را روی یک سطح حساس ثبت می‌کرد (شکل ۳۶).این نخستین دستگاه، آزمایشهای واقعی ارسال روی یک مدار تلفنی را که در ۱۹۰۷ پاریس ـ لیون ـ بروکسل ـ پاریس را به‌هم متصل کرد، ممکن ساخت.

آقای بلن، کمی پس از آن به‌جای لمس کنندهٔ مکانیکی خود از نوعی میکروفون با سوزن کاشف استفاده کرد، که دیافراگم نخستین گرامافونها را به یاد می‌آورد و از غشائی نرم و حامل این سوزن تشکیل شده بود که متکی بر دانه‌ای زغال در برابر جدار عقبی بود. تغییرات فشار این دوسطح

1. Paul Nipkov 2. Weiller 3. C. Jordery 4. Senlecq



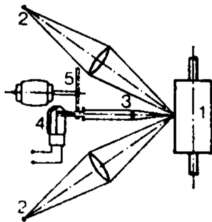
شکل ۳۶.اصول گیرندهٔ دستگاه بلن.
۱. منبع نور؛ ۲. سیستم خازن، دیافراگم و عدسی جسمی که در کانون آینهٔ ۳ یک نوسانما قرار گرفته است؛ ۴. ردیف رنگها که مطابق وسیلهٔ نوری، دسته اشعه را روی استوانهٔ گردان ۵ حامل کاغذ عکاسی می‌تابانند و به‌طور جانبی جابه‌جا می‌شوند.

روی این دانهٔ زغال، تغییر مقاومت برقی کلی را معلوم و جابه‌جاییهای مکانیکی را به تغییرات جریان برقی تبدیل می‌کرد.

در سال ۱۹۱۳ یک دستگاه فرستندهٔ قابل حمل برای خبرنگاران عکاس ساخته شد که برای نخستین بار بین لیون و پاریس در آوریل ۱۹۱۴ به‌کار گرفته شد. موفقیت بلنوگراف در پایان جنگ جهانی اول آشکار شد و در سالهای ۱۹۳۰ عمومیت داشت.

در این زمان آقای بلن می‌کوشید تا از طریق رادیو عکسها را مخابره کند. دستگاه بلنوگراف با سیم با کمک تحمیل دامنه‌ای عمل می‌کرد ـ روشی که برای مخابرهٔ رضایت بخش رادیویی آمادگی نداشت. تحمیل بسامدی در اوایل دههٔ ۲۰ بدشواری انجام می‌گرفت. بدین ترتیب، آقای بلن دستگاهی اندیشیده بود که برپایهٔ کاربرد پخش با نوسان‌نمای آینه‌دار، برای تبدیل تغییرات دامنه‌ای به تغییرات مدتی علایم برقی بود (شکل ۳۷).با کمک چنین وسیله‌ای، انتقال آزمایشی نقشه با خط، سپس عکاسی در طی دههٔ ۱۹۲۰ انجام گرفتند و خدمات منظمی در دههٔ بعدی برقرار شد. کمی پس از آن، تحمیل بسامدی، بتدریج جانشین «تحمیل مدتی» شد.

در این ضمن آقای بلن، حدود سال ۱۹۲۷، از روش کشف برجستگیهای تصویر با میکروفون را با روش کشف نوری به کمک لامپ نورا برقی گازی، که در ۱۹۰۶ شناخته شده بود عوض کرد، اما نتوانست پیش از دستیابی به فزونساز (آمپلی‌فایر) های لامپی آن را به‌کار گیرد. اجرای اختراعات اساسی آقای بلن که آزاد شده بود، و وسایل گوناگون به‌کارگیری آنها، انگیزهٔ پیدایش روشهای رقیب



شکل ۳۷.اصول فرستندهٔ دستگاه بلن.
۱. استوانهٔ گردانی که حامل عکس است، دسته‌های شعاع نوری که منبع ۲ آنها را می‌تاباند توسط سیستم نوری ۳ روی پیل نور- رسانا ۴، از درون سوراخهای یک دیسک‌گردان بازتاب می‌شود؛ سرعت گردش این دیسک۵ طوری معین شده است تا بسامدی از علامتها در باند شنودی (۱۵۰۰ هرتس) ویژهٔ انتقال توسط مدار تلفن، ایجاد کند.

تلفونکن و زیمنس در این دوره بودند. برای پایان دادن به این رقابتها، نوعی اتحاد فنی و قواعد جهانی در سال ۱۹۲۹ پدید آمدند.

پیدایش و پیشرفت تلفن

همین‌که در ثلث دوم سدهٔ نوزدهم با پدیده‌های الکترومغناطیسی آشنا شدند، کسانی در اندیشه به‌کار گرفتن آنها، نخست در صدد برآمدند تا صدا را به کمک اثر لرزشهای میله‌هایی از آهن پدید آورند؛ سپس این صداها بویژه گفتار را به فواصل دور انتقال دهند. این دلمشغولیها نشانی از علاقهٔ پنهان به حذف مانع مسافت برای ارتباط مستقیم از راه گفتار است. وسایل ارتباطی با علایم قرار دادی در آن زمان وجود داشت. تلگراف برقی در طی دههٔ ۱۸۳۰ یک جانشین بسیار سریع و مستقیم تلگراف نوری بود. این وسیله تقریباً بدون درنگ، پایه‌های تکنیکی ـ اقتصادی لازم برای پیشرفت کاربرد خود را یافت. مبادلهٔ گفتار بین دو نفری که نمی‌توانند یکدیگر را ملاقات کنند، بزودی یک هدف جالب و فریبنده شد درحالی‌که حتی اندیشه، اینکه این کار بتواند به یک نیاز اقتصادی پاسخ دهد در خاطرها نمی‌گذشت، و جز نوعی رضایت حداکثر اجتماعی دستاورد دیگری نداشت.

بی‌تفاوتی نسبت به پیشنهادهای شارل بورسول[1] در ۱۸۵۴ گواه این واقعیت است که به علل گوناگونی این موضوع مسأله روز نبوده است. آقای بورسول پیشنهاد کرده بود که دربرابر صفحهٔ متحرک انعطاف‌پذیری صحبت شود که ارتعاشات آن مدار یک پیل را قطع می‌کند و در فاصله‌ای

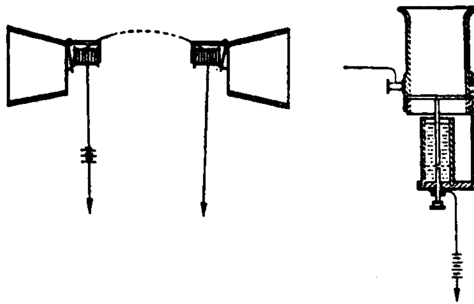
1. Ch. Bourseul

دور، ارتعاشات یک سیستم مشابه وارد مدار می‌شود و گفتار را بازسازی می‌کند. وی به‌طور ضمنی می‌اندیشید که به‌جای وسایل گوناگون مکانیکی گسست و پیوست یک جریان برای تلگراف، از تجهیزات مکانیکی ـ آکوستیکی استفاده شود که امکانات آن را بتازگی کشف کرده بودند.

بااین‌حال مسأله پیچیده‌تر از آن بود که وی در مقالهٔ معروف خود در مجله ایلوستراسیون مورخ ۲۶ اوت ۱۸۵۴ که پیوسته از آن یاد می‌شود، می‌اندیشید. مسأله در گسست و پیوست یک جریان، مثل تلگراف نبود. بلکه تغییر دادن شدت جریان به‌طور پیوسته، در اثر صدا یا به سخن درست‌تر، تغییرات فشار هوایی بود که با صدا بیرون داده می‌شد. با وجود این، علت تأخیر بیست سالهٔ تلفن، دشواریهای فنی نبود. هم وسایل و هم اطلاعات لازم برای این کار در دسترس بود. تنها گویا سازندگان این وسیله فاقد آن مهارتی بودند که سازندگان تلگراف رفته‌رفته آن را به‌دست می‌آوردند؛ همچنین می‌توان پذیرفت که در مرحلهٔ اول کار انتقال و جابه‌جاگری با دست، مشکلات فنی حل ناشدنی دربرابر تکنسین‌های اواسط سدهٔ نوزدهم، که مشکلات پیچیده‌تری را حل کرده بودند، وجود نداشت. تأخیر در این نوآوری را می‌توان مثل بسیاری از موارد دیگر، به عدم پذیرش محافل اجتماعی ـ اقتصادی این دهه‌ها نسبت داد.

آفرینش تلفن: قضیهٔ آفرینش تلفن شناخته‌تر از آن است که در اینجا جزئیاتی از آن را بیان داریم. هر دو عامل مهم آن امریکایی بودند: گراهام‌بل، که ملیّت اسکاتلندی داشت، و هموطن وی ایلایشه‌گری. آقای بل پروفسور طرز بیان بود و بدین جهت باز پروری کودکان کرولال را عهده‌دار شد. شخص دوم به وسترن الکتریک کمپانی تعلق داشت. آنها پس از کارهای گوناگونی که روی تلگرافهای هارمونیکی با تیغه‌های لرزان انجام دادند و افتخاری به‌دست آوردند، هردو نفر تقریباً در یک زمان به ساخت نخستین مدارهای تلفنی توفیق یافتند. آقای بل از یک «فرستنده» و گیرنده‌ای مشابه آن استفاده کرد که از یک غشاء لرزان تشکیل شده بود که جوشنی را در میدان یک مغناطیس برقی جابه‌جا می‌کرد. (شکل ۳۸)،فرستندهٔ آقای گری، در شدت جریان مدار، توسط میله‌ای از پلاتین که در یک ظرف پر از آب بالا و پایین می‌رفت، تغییراتی پدید می‌آورد، یعنی همان سیستمی که بل در سال قبل از آن مورد آزمایش قرار داده بود و هنوز به آن دل بسته بود. گیرنده آقای گری عملاً مشابه گیرندهٔ بل بود.

برپایهٔ تصادفی، که در تاریخ تکنیک، تنها نیست، هر دو امتیاز در روز ۱۴ فوریه ۱۸۷۶ به‌ثبت رسیدند. گفت‌وگو دربارهٔ تقدم طبعاً به درازا کشید و حکمی در سال بعد مبنی بر شناسایی تقدم بل، براساس دلایل سادهٔ شکل دستگاه، صادر شد. سرانجام، شرکت وسترن یونیون حقوق هر دو

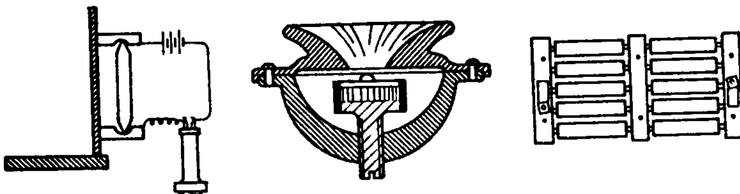


شکل ۳۸.نمایهٔ نخستین دستگاههای فرستندهٔ تلفن.
سمت چپ: دستگاه فرستنده بل؛ سمت راست: دستگاه فرستندهٔ گری.

مخترع را خرید و آقای گری از میدان رقابت، خود را کنار کشید.

نخستین شبکه‌ها: نخستین دوران پیشرفت تلفن با تلگراف شباهتهایی دارد، با این تفاوت که ابتکار فردی، در این قسمت در آغاز آزاد بوده است و انحصار آن در هر کشور، پس از یک دهه، در زیر چتر سازمانهای خصوصی یا دولتی عملی شد. رقابت در دستگاهها، چه در قسمتهای اصلی، میکروفون و گیرنده و چه قسمتهای فرعی بالا گرفت.

در مورد قسمتهای اصلی، این دستگاهها که گرفتن تغییرات میدان الکترومغناطیسی را ممکن ساخته بودند گوناگون بودند. از میان راه‌حلهای پیشنهادی، راه‌حلهای هیوز و ادیسن در ۱۸۷۸ و در فرانسه راه‌حل کلمان آده ۱۸۷۹ بزودی خود را بسیار مؤثر نشان دادند (شکل ۳۹).میکروفون آقای هیوز در پشت صفحهٔ لرزان خود، مدادی زغالی داشت که بین دو پایهٔ کوچک زغال



شکل ۳۹.نمایهٔ میکروفونها (۱۸۷۷ـ۱۸۷۹).
سمت چپ: میکروفون هیوز؛ وسط: میکروفون *ادیسن*؛ سمت راست: میکروفون *کلمان آده*.

به‌طور آزاد جاسازی شده بود. میکروفون ادیسن کپسولی داشت که محتوی دانه‌های زغال بود، و بالاخره میکروفون کلمان آده ده میلهٔ زغال داشت که به‌طور افقی گذاشته شده بودند و این حالت نواقص میکروفون هیوز را، که بسیار حساس بود، کاهش می‌داد. اصول میکروفون ادیسن هنوز پایهٔ میکروفونهای تلفنی کنونی است. اصول ساختمان گوشی تلفن آقایان بل و گری هنوز در رایجترین گوشیهای تلفن دیده می‌شوند.

نخستین مدارهای تلفنی نصب شده، تنها بین دو پست، یعنی دو نقطه کار می‌کردند. در سال ۱۸۷۷ گفتار توسط خطوط تلگرافی موجود منتقل می‌شد و بعدها نخستین خطوط تلفن در ممالک متحدهٔ امریکا، انگلستان، فرانسه و آلمان کشیده شد. مقاومتها یا بی‌تفاوتی مردم، هنوز زیاد بود. این اختراع جدید، وقتی‌که به مناسبت نمایشگاه عمومی ۱۸۷۸ در فرانسه عرضه شد با نوعی بدبینی مواجه گردید.

بااین‌حال، از ماه اکتبر ۱۸۷۷ طرح یک مرکز ارتباطی برای مشترکین متعدد در دست بود و در ماه ژانویهٔ سال بعد، نخستین خط بازرگانی در نیوهیون (درکونکتیکت) برقرار شد. نخستین مرکز در ماه اوت ۱۸۷۹ در لندن و در ماه بعد در پاریس تأسیس یافت. برد ارتباط در این زمان، تنها چند کیلومتر بود.

نمایشگاه برق در ۱۸۸۱ در پاریس در آشنایی مردم با این تکنیک جدید بسیار اثر کرد. آقای آده طرحی برای گوشیهای انفرادی ویژهٔ نمایشهای اپرایی اندیشید که آن را تئاتروفون می‌نامید، این گوشی موفقیتی به‌دست آورد و نام وی را برای مدتی مشهور کرد. ادارهٔ تلفن فرانسه در ۱۸۸۳ برای نخستین بار، شهری به نام رنس را با شبکهٔ تلفنی دارای ۱۵۰ مشترک مجهز ساخت و در ۱۸۸۴ شبکهٔ بین شهرها را برقرار کرد.

شرکتهای متعدد صنعتی برای ساختن تلفن تأسیس شدند که از جمله می‌توان از شرکت بل و Americain Telephone&Telegraph Co در ممالک متحدهٔ امریکا نام برد که انحصار فروش تلفنهای آنها را Western Union داشت.

کیفیت صدا: برخلاف آنچه که برکار تلگراف، در چند دههٔ پیش از آن گذشته بود، در ابتدا مشکلات ساختمانهای الکترومکانیکی نبودند که دربرابر گسترش کاربرد تلفن قد علم کردند، بلکه دشواریهای مربوطه به کابلها و خواص آنها بود. در طی دههٔ نخست، این مخابرات صرفاً با کابلهای هوایی انجام می‌گرفت. این کابلها، که مسی یا مفرغی و بدون پوشش بودند روی همان دکلهای تیر تلگراف نصب می‌شدند.

بزودی دریافتند که آنها متحمل آثار القایی می‌شوند و کیفیت انتقال در آنها، بد می‌شود. در طی دههٔ ۸۰، کاربرد کابلهای زیرزمینی، نخست برای تلگراف، سپس بی‌درنگ برای تلفن آغاز شد. پژوهشهای متعددی برای تعیین بهترین راه‌حل برای ترکیب کابلها و مقره‌ها و نیز روکشهای آنها انجام گرفت. این دوره‌ای بود که بویژه اصل برگشت جریان به زمین کنار گذاشته شده بود و هر خط تلگراف در مدار بسته‌ای برقرار می‌شد. آثار جریان القایی را باز می‌بایست کم می‌کردند و برای این کار به هر یک از دو کابل مجاور، یک سیم‌پیچ حلزونی با گام متفاوت می‌افزودند.

باز باید گفت که این زمانی بود که پژوهشهایی باکمک یک ماشین حساب پیشرفته توسط آقای امه‌واشی[1] در ۱۸۷۹ و آلیور هویساید[2] در سالهای ۸۹ ـ ۹۰ انجام می‌گرفت و تأثیر مقاومت کابلها و ظرفیت آن، خودالقایی و بالاخره اتلاف جریان در عایق کاری را در طرز انتشار یک جریان ناپیوسته شناسانیدند. کمی پس از این تاریخ، آقای مایکل پوپین یک راه‌حل عملی پیشنهاد کرد که برپایهٔ قرار دادن بوبینهای خودالقای مرتفع کنندهٔ خودالقاگری کابل، در خط بود. پوپینی کردن را در سال ۱۹۰۲ شرکت آمریکن تلفن‌اند تلگراف آزمایش کرد و حق امتیاز آن را به مبلغ یک میلیون دلار از آقای پوپین خرید. این روش در اثر نتایج خوبی که داشت در سال ۱۹۱۰ در خطوط زیرزمینی تعمیم یافت. در سال ۱۹۰۲ همچنین آقای کار-امیل کراروپ[3] مهندس دانمارکی یک دستگاه کابلی خودالقاگر را به‌کار گرفت که خودالقاگری آن، با سیمی از آهن نرم که دستگاه را در خود گرفته بود به‌طور یکسانی پخش می‌شد. خطوط میدان مغناطیسی تقویت شده در اثر عبور جریان، در آهن جایگیر می‌شوند و خودالقاگری کابل را بر می‌انگیزانند. روش آقای کراروپ تنها از سال ۱۹۲۰ و برای کابلهای تلگراف زیردریایی به‌کار گرفته شد و حال آنکه کاربرد روش پوپین از چند سال پیش در تلفن امکان می‌داد که به‌جای کابل هوایی از کابل زیرزمینی استفاده شود. با به‌کار گرفتن فولادهای ویژهٔ نیکل‌دار نظیر پرمالوی[4] و مومتال[5] کیفیت مکالمه، بازهم بهتر شد.

نمونهٔ خودالقاگری امکان می‌دهد تا با نوع دشواریهایی که در قسمتهای خط و انتشار جریانها، بتدریج برطرف شدند و به‌تفصیل آنها در اینجا ممکن نیست، آشنا شویم. همچنین معلوم می‌کند که کوششهای انجام گرفته برای بهتر کردن کار تلفن، بازتاب مستقیمی روی تلگراف داشته است. این یک فرآیند کلی و همیشگی تحول تکنیکهاست که در طی نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم شتاب گرفت و در سدهٔ بیستم به یک فرآیند اساسی تبدیل شد.

1. Aime' Vaschy 2. D. Heaviside 3. Car-Emil Krarup

۴. Permalloy آلیاژهایی با مغناطیس پذیری بیش‌از آهن ـم.

۵. Mumétal آلیاژی با مغناطیس‌پذیری زیاد شامل ۱۴٪ آهن، ۵٪ مس، ۱/۵٪ کروم و بقیه نیکل ـم.

تلفن، نمونهٔ دیگری از بازتابهای متقابل نوآوریها در دو رشتهٔ فنی به ما می‌دهد. در سال ۱۹۰۴ آقای جان امبروز فلمینگ در اوضاع و احوالی که بعداً آن را شرح خواهیم داد خواص دیود را کشف کرد. آقای فلمینگ که در آن زمان برای مارکونی کار می‌کرد دربارهٔ کاربرد احتمالی لامپ خود در تلگراف بی‌سیم می‌اندیشید. آقای لی دفارست در ۱۹۰۷ نخستین تریود را ساخت، لامپی که در آغاز، بیش‌از دیود کاربرد نیافت و برای پژوهشگران چیزی جز یک وسیلهٔ آزمایشگاهی نبود.

شرکت وسترن الکتریک لامپ تریود را در ۱۹۱۲ به‌کار انداخت و شرکت آمریکن تلفن‌اند تلگراف از آن به‌عنوان فزونساز (آمپلی فایر) یکسوی کننده ورله در تأسیسات تلفنی استفاده کرد. در سال ۱۹۱۵ بود که تریود به‌طور جدی برای این کار، و بعداً روی خطوط تلگراف و بالاخره پستهای رادیو مورد استفاده قرار گرفت.

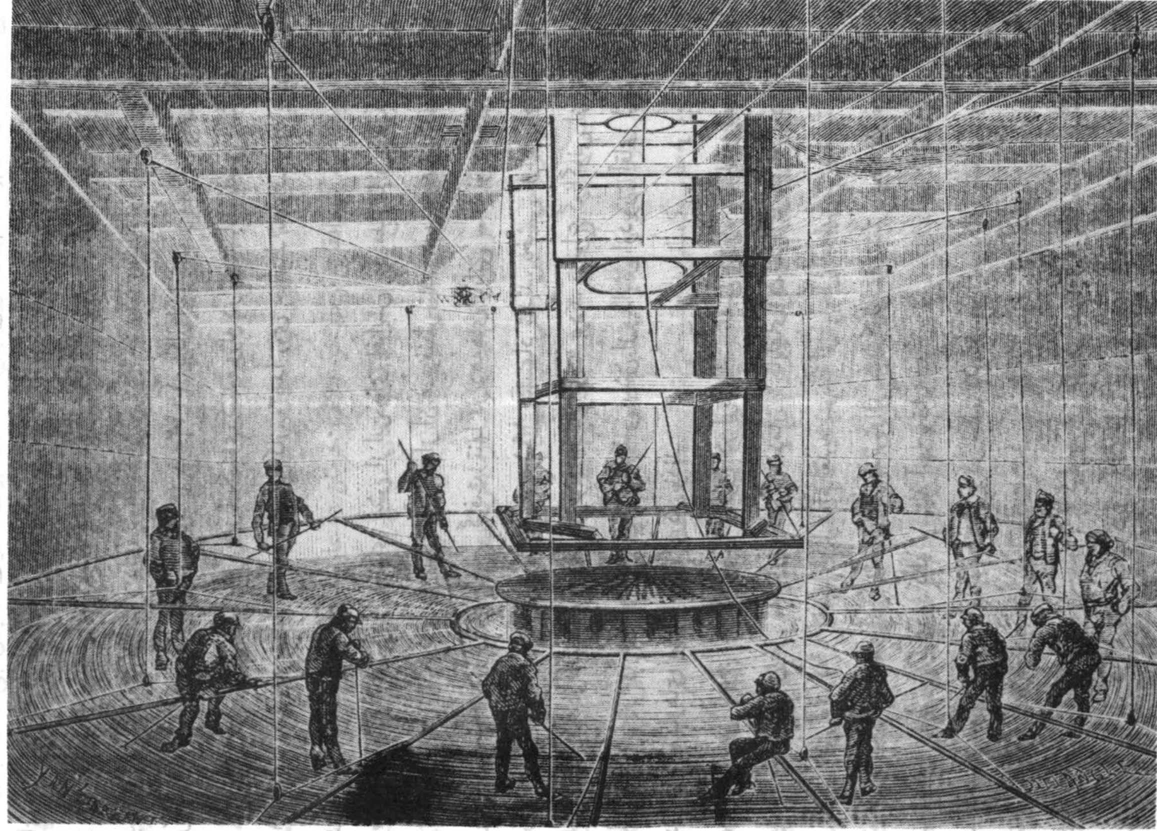
موضوع رله‌های تلفنی در زمانهای پیش از این برای افزایش برد مدارها و بهتر کردن کیفیت مکالمه مطرح شده است. گویا در سالهای ۸۰ از آن صرفنظر شد و این پژوهشها اساساً بمنظور گسترش حساسیت میکروفون انجام می‌گرفت. تنها در دهه‌های پایانی سدهٔ نوزدهم بود که به رله روی آوردند و نخستین راه‌حلهای مؤثر حدود ۱۹۱۰ پیشنهاد شدند. بخشی از این راه‌حلها، نتیجهٔ بررسیهایی است که در گذشته روی میکروفونها انجام گرفته بودند و انواع گوناگونی از مونتاژ برای تأمین کارکردن در هر دو جهت، آزمایش شدند. کمی پیش از پیدایش اودیون[۱] آقای لی دفارست، به‌کاربرد لامپهای گازهای یونیده روی آورده بودند.

کابلهای زیردریایی تلفن: لحظهٔ مهم دیگری در ارتباطات تلفنی از راه دور، در نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم پدید آمد و آن تعویض کابلهای جفتی همزمان با کابلهای هم مرکز و نیز کاربرد واگویه‌های مطمئن زیردریایی بود، که با لامپهای با دوام تغذیه شونده از ساحل، مجهز می‌شدند. برد کابلهای چند رشته‌ای، بدون استفاده از فزونساز، درگذشته از صد کیلومتر بیشتر نبود. در سال ۱۹۲۷ ارتباطات تلفنی از طریق پا ـ دو ـ کاله بوسیلهٔ آنها برقرار شد.

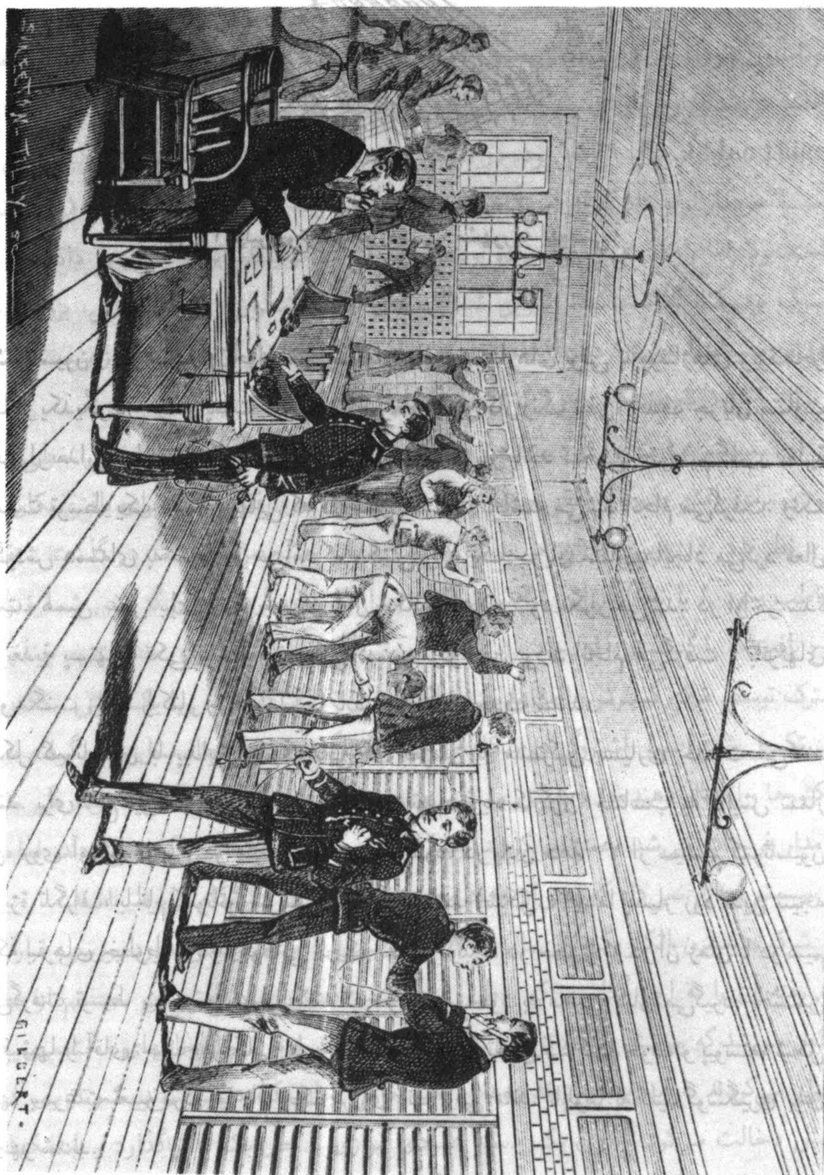
دستگاههای نوین با کابلهای زیردریایی در سال ۱۹۵۶ بین امریکای شمالی و اروپا برقرار شدند. تعداد «راههای» موجود در یک جهت، نخست تا ۳۶ عدد بالا رفت.

واگویه‌ها، یکطرفه و با فاصلهٔ حدود ۷۰ کیلومتر از یکدیگر گذاشته می‌شدند. این تکنیک بزودی برای نیل به مکالمهٔ هر دو طرف با یک کابل با استفاده از دو باند مشخص بسامدها، تکمیل شد. کاربرد ترانزیستورها، دوام واگویه‌ها و شمار راههای دو طرفی را افزایش داد و به‌حدود دو تا سه هزار برای پهناهای از ۱۶ تا ۲۴ مگاهرتس رسانید.

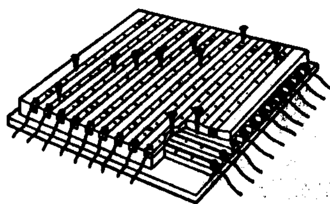
۱. audion نام تجارتی آشکار سازی از انواع لامپ خلأ، با سه الکترد، که درگذشته در رادیو به‌کار می‌رفت.ـم.



تابلوی ۱۷. استقرار یک کابل تلگراف زیردریایی با استفاده از کشتی Graet Eastern.



تابلوی ۱۸. ادارهٔ تلفن در نیویورک (حدود ۱۸۸۰).



شکل ۴۰.اولین نوع کموتاتور دستی، مشهور به سویسی.

مشکل کموتاسیون: در اینجا از تحول خود پستهای تلفن و مدارهای برقی با مونتاژهای ویژهٔ مجزا کردن آنها از یکدیگر در هر دو پست فرستنده و گیرنده، تأمین کار زنگ تلفن، حذف جریان متناوب زنگ تلفن از مدار تا راه تنها برای جریان مستقیم مکالمه باز باشد سخنی نخواهیم گفت. تغذیهٔ تلفن نخست توسط یک دسته پیلهایی که در منزل مشترک گذاشته می‌شد انجام می‌گرفت. زنگ تلفن با گردش دسته‌ای به صدا در می‌آمد که مگنتی راکه یک جریان متناوب ایجاد می‌کرد فعال می‌ساخت. همین عمل برای اینکه به‌مرکز پایان مکالمه اعلام شود تکرار می‌شد. در اواخر سدهٔ نوزدهم، تغذیهٔ پستهای تکی توسط باتریهایی که در مرکز تلفن بودند انجام می‌گرفت و باتریهای خانگی و مگنت زنگ را کنار زدند، اما آنها با کندی بسیار حذف شدند.

مشکل کموتاسیون با پیدایش شبکه‌هایی که همزمان به مشترکین بسیاری خدمت می‌کنند پدیدار شد. برای رفع این مشکل ناگزیر نخست به تعداد زیاد کارگران، متناسب با افزایش شمار مشترکین، روی آوردند تا بین دو خط ارتباط برقرار شود. در پایان دههٔ ۷۰ از سیستم کموتاسیون دستی ویژهٔ تلگراف، با نام کموتاتور سویسی بهره گرفته شد (شکل ۴۰).اما بسیار زود بدین نتیجه رسیدند که سرهای خطوط را در تابلوهایی محکم کنند و ارتباط دو خط راکه در آن زمان با دو سیم انجام می‌گرفت توسط بند نرمی عملی کنند که در هر سر خود به فیشی پایان می‌گیرد. نخستین نوع این فیشها را آقای جک امریکایی طرح کرد. بعدها برای تأمین کنتاکت خوب و پیوسته، شکل این فیشها بسرعت تغییر کرد، اما نام جک برروی آنها باقی ماند. تابلوها به کلید گوشگیری برای اپراتور مجهز شدند.

شمار مشترکین بسرعت فزونی گرفت و در آغاز دههٔ ۸۰ تابلوهای چندگانه نصب شد که توزیع و ترتیب آنها، هر اپراتور را بر برقراری مستقیم ارتباط بین دو مشترک توانا می‌کردند. عدهٔ مشترکین بازهم برای هر شبکه از هزار فراتر رفت. اما از همین زمان دربرابر چشم‌انداز افزایش تعداد خطوط

و چند برابر شدن مراکز کموتاسیون، برای تحقق سیستمهای گزینش و کموتاسیون خودکار، کوشش کردند.

کموتاسیون خودکار: این موج پژوهشی که در ۱۸۷۹ آغاز شد به‌دنبال وسایل جدیدی که پیاپی ساخته می‌شدند اوج تازه‌ای یافت. در این رشته، ابتکار در دست شرکتهای امریکایی Connoly و Mac thige از سال ۱۸۷۹ بود. در نمایشگاه سال ۱۸۸۱ برق در پاریس، شرکت کنلی نوعی گزینندهٔ خودکار ارائه داد که از دستگاهی الهام می‌گرفت. که آقای فرومان در ۱۸۴۵ برای تلگراف ساخته بود. اما راه‌حلهای نسبتاً سادهٔ اولیه، زمانی‌که هر مرکز ناگزیر از سرویس دادن به هزارها مشترک بود، کنار گذاشته شد. بنابراین شمار زیادی از پژوهشگران، اکثر امریکایی، بزودی تحقیق روی این مسأله را شروع کردند. از جمله سیستمهای پیشنهادی در آن زمان باید از سیستم اشتروگر، در سال ۱۸۹۱ نام برد که رواج و گوناگونی بسیار زیادی یافت.

این سیستم عبارت بود از دستگاهی که یک گردآور (کولکتور) با سه جابه‌جایی خطی داشت: عمودی برای یافتن صدگان، افقی سریع برای دهگان و بالاخره افقی بطئی برای یافتن یکان شمارهٔ مورد نظر بود. در همین دوران هر پست با یک شماره مشخص می‌شد. در گذشته متقاضی، مخاطب خود را با نام از اپراتور تقاضا می‌کرد. بعداً ابزارهای گردان برای گزینش شمارهٔ واحدها رواج یافت که با گذشت زمان چند برابر و گوناگون شدند. این سیستم برای خدمت به چندین هزار مشترک توسط مرکز، گسترش یافت با یک سلکتور برای هزاران که سپس با یک پیش سلکتور برای مرکز تکمیل شد. اصول اشتروگر در شکلهای بسیار گوناگون حدود پنجاه سال به‌کار گرفته می‌شد. سلکتورها و اتصال دهنده‌ها با دستور مستقیم و تحت تأثیر ضرباتی که با حرکت شماره‌گیر مشترک در مدار فرستاده می‌شد، عمل می‌کردند. همهٔ سلکتورها بر پایهٔ دهدهی کار می‌کردند. اما اصول این سیستم اجازه نمی‌داد که بیش‌از تعداد معین خطوط به هر دستگاه مربوط باشند.

شرکت وسترن الکتریک در سال ۱۸۹۷ سیستمی را برای گزینش مورد بررسی قرار داد و رفته رفته آن را به اجرا گذاشت که به‌طور غیرمستقیم دستور می‌گرفت. این سیستم از قطعاتی تشکیل می‌شد که پیوسته درگردش بودند و چند مغناطیس برقی، جابه‌جاییهای مختصری به آنها تحمیل می‌کردند تا اینکه با چرخدنده‌های یک حامل جاروبک درگیر شوند. کموتاتوری در این گزینش دخالت می‌کرد تا روی یک دستهٔ عمودی موازی با جاروبک تأثیر گذارد و بادامکهای آن را متوقف سازد تا یکی از آنها، جاروبکی را برگزیند. ویژگی این سیستم تبدیل ردیف ضربه‌های با پایهٔ دهدهی به ردیف شماره‌ها و ترکیبات گوناگون است و این معنی را می‌رساند که این تأسیسات

دارای قطعات لازم برای کارهای گوناگون ـ ثبت کردن، ترجمهٔ پیام، گزینش و اتصال ـ هستند. این ترکیب سبب شد که این دستگاهها دارای نرمش فوق‌العاده‌ای برای ادارهٔ ترافیکهای مهم ارتباطات باشند. این سیستم که به نام روتاری شهرت یافت در انواع گوناگونی ساخته شد و هنوز هم به‌کار می‌رود. با درنظر گرفتن عظمت سرمایه‌گذاریهای لازم برای تجهیزات شبکه‌ها، در همه‌جا از وسایل موجود تا هر زمان که امکان دارد استفاده می‌شود؛ معمولاً مدت چهل سال کار رضایت بخش آنها تضمین می‌شود. برای طرحریزی زنجیره‌های گزینش چند مرتبه‌ای و پیش‌بینی تعداد قطعات و مدارهای لازم، بررسی احتمالات را آقای ارلنگ دانمارکی دربارهٔ ترافیک تلفنها انجام داد. نام وی برای یکایی برگزیده شد: هر ارلنگ برابر شصت دقیقه اشتغال جریان در یک ساعت توسط یک گروه قطعات یا یک ردیف مدار است.

در فرانسه سیستم روتاری برای ارتباطات شهری در ۱۹۲۸، همراه با سیستم به‌اصطلاح R6، که از اشتروگر اقتباس شده بود، و در ۱۹۶۱ برای ارتباطات بین شهری به‌کار گرفته شد. بااین‌حال، پس از جنگ جهانی دوم، سیستم دیگری از ارتباطات پدید آمد که بر پایهٔ جابه‌جایی کوچک میله‌های صلیبی شکل بود. این سیستم اساساً کموتاتور سویسی دستی را تداعی می‌کند که نخست برای تلفن به‌کار گرفته شده بود.

ردیفی از میله‌های عمودی به خطوط ورودی متصل می‌شدند و یک ردیف میله‌های افقی مربوط به خطوط خروجی را قطع می‌کنند. هر یک از میله‌های عمودی می‌تواند با میله‌ای از ردیف دوم مرتبط شود، اما این اتصال توسط کلاچی به‌طور خودکار ایجاد می‌شود، که بر یکی از کنتاکتهای مؤثر، که به همهٔ میله‌های صلیبی مربوط می‌شود، عمل می‌کند. جابه‌جایی کوچک و خطی میله‌های عمودی، کنشهای سریعتری از سلکتورهای گردنده را ممکن می‌سازد و فرسودگی ایجاد شده در قطعات، بسیار کمتر است. در فرانسه، سیستمهای گردنده از سال ۱۹۶۰ در تأسیسات جدید، منظور نشدند و بویژه جهت ارتباطات خودکار بین شهری از آنها به‌نفع میله‌های صلیبی صرفنظر شد؛ با اینکه سیستمهای گردندهٔ موجود در این زمان به‌کار خود ادامه می‌دادند. میلهٔ صلیبی با اجازهٔ ساخت خارجی، طبق دو نوع دستگاهی که تحت نام CP400 مشخص می‌شدند، بود؛ دستگاهی که تبار سوئدی داشت، اریکسن، و دستگاهی که امریکایی و متعلق به شرکت اینترنشنال تلگراف‌اند تلفن بود و Pentaconta نامیده می‌شد.

این دو سیستم چند گزینشی تفاوتهایی از نظر ظرفیت با یکدیگر داشتند و در نتیجه کاربرد آنها در تجهیزات مراکز برحسب چگونگی ترافیکی که آنها می‌توانستند تأمین کنند ممکن می‌شد.

کنارگذاشتن سیستمهای مکانیکی، که هر سلکتور گردنده گام‌به‌گام کار می‌کرد به سود سیستمهای الکترومکانیکی با هدایت متمرکز، که شامل میله‌های صلیبی می‌شدند، یک تحول جالب در خودکار شدن تلفن است.

کموتاسیون الکترونی: طبعاً آن زمان رسیده بود که وسایل الکترونی به قدر کافی پیشرفته باشد تا در اجرای وظایف تلفنهای خودکار ـ کموتاسیون، حافظه و فرمان ـ به‌کار گرفته شوند. این زمان با نخستین پیشرفتهای ماشین حسابهای الکترونی، یعنی در آغاز دهه ۵۰ مقارن است. نخستین آزمایشها برای این کار در انگلستان و هلند در ۱۹۵۴ و در فرانسه ۱۹۵۷ انجام گرفت. پس‌از اندک مدتی، نوآوران خود را ناگزیر به گزینش یکی از دو روش اصلاح پیامهای صوتی دیدند.

نخستین روش، تأمین انتقال خطی صدا مطابق نمایهٔ کلاسیکی وسایل الکترومکانیکی به وسیله همهٔ قطعات کموتاسیون مرکز، که به‌طور خودکار برای اتصال دو پست عمل می‌کنند، بود. این روش، کموتاسیون فضائی نامیده شد زیرا هر مکالمه، در تمام طول مدت آن، مستلزم اتصال پیوسته‌ای است و خط سیر معینی را که با عناصر کموتاسیون برقی مشخص می‌شود، در فضا به‌طور مستمر اشغال می‌کند. این روش مستلزم تأمین تعدادی کموتاسیون است که برای پاسخگویی به‌تقاضای ترافیک کافی باشد، و در ضمن موجب تداخل صداهای مجاور نشود. این روش تقریباً منحصراً در ممالک متحدهٔ امریکا توسط شرکت اینترنشنال تلگراف‌اند تلفن و در کشورهای دیگری هم، مثلاً فرانسه، در شبکه‌های خصوصی به کارگرفته شد.

کموتاسیون زمانی، با تجربهٔ پیامها و با حذف قبلی علامت برقی منتشر توسط میکروفون در هر ۱/۸۰۰۰ ثانیه، یا هر ۱۲۵ μ ثانیه عمل می‌کند. دلیل وجود این فاصله، این است که بسامد یک جریان صوتی از ۴۰۰۰ هرتس فراتر نمی‌رود و لزومی به مخابرهٔ مستمر آن نیست، بلکه تنها توسط علایمی انجام می‌گیرد که از یک بسامد دوگانه بسامد جریان برداشت شده است. در مدت این چرخهٔ ۱۲۵ μ تعدادی خطوط داخل شونده را می‌توان پی‌درپی کشف کرد.

چنانچه این کشف، مثلاً چهار هزارم ثانیه طول بکشد، در مدت چرخه، ۳۰ خط کشف خواهند شد و پیام هرکدام به‌درستی انتقال می‌یابد. دیده می‌شود که این تسلسل را می‌توان به‌جای مولتی پلکس کلاسیک به‌کار گرفت.

این روش، بویژه در فرانسه توسط تکنسین‌های Centre National d'Etudes des Te'le'communication طی سالهای ۱۹۶۷ـ۱۹۶۹ مورد بررسی قرار گرفت و به‌نوعی از کموتاتور به نام *Platon* (یا **Elo**) راه برد که ظرفیت ۱۵۰۰۰ خط آن امکان می‌دهد از آن به‌عنوان

مرکز ترانزیتی استفاده شود. در تکنیک فرانسه، کموتاسیون فضایی و کموتاسیون زمانی، دو قطب متقابل و واگرای دستگاهها نیستند، بلکه از لحاظی همکار می‌باشند. در سال ۱۹۷۰ این بررسیها بمنظور ساختن مرکزهای کموتاسیون زمانی با ظرفیت بسیار بالا ادامه یافت. این کوموتاسیونها اکیداً تحت فرمان نوعی کامپیوتر می‌باشند زیرا این سیستم کموتاسیون، به نوعی آمایش انفورماتیکی فرمان نیاز دارد.

تلفن و رادیو: راههای دیگری از مکالمهٔ تلفنی بدون سیم، در اواخر سالهای ۱۹۳۰ معمول شد. جزئیات ساخت و گسترش ارتباطات رادیو الکتریک بعدها گفته خواهد شد. در اینجا تنها کاربردهایی را خاطرنشان می‌کنیم که برای کار یک سرویس مردمی انجام گرفته‌اند.

کمی پیش از آغاز جنگ جهانی دوم، از موجهای سانتیمتری برای ایجاد آنچه که «دستهٔ اشعه» هرتسی نامیده شد، چون توسط وسایل جهتدار انتشار می‌یابند، استفاده کردند. این دسته اشعه به‌طورکلی از تحمیل بسامدی یک موج حامل با بسامد بسیار زیاد استفاده می‌کند، زیرانسبت به همهمه کمتر از تحمیل دامنه‌ای حساس است. نخستین باند بسامد به‌کار گرفته شده، در اطراف ۱GHZ (گیگاهرتس= ۱۰^۹ هرتس) بود که مربوط به‌طول موج ۳۰ سانتیمتری است. این باند امکان می‌دهد تعدادی راههای ۳۰۰ که بعداً تا ۹۶۰ بالا رفت در دسترس قرار گیرند. بعدها با پذیرش باند بسامدهای ۶GHZ در فرانسه، تعداد این راهها به ۱۸۰۰ رسید.

یک «خط» دسته اشعهٔ هرتسی از پستهای انتقال مجدد با فواصل ۵۰ کیلومتری از یکدیگر با رؤیت مستقیم تشکیل شده است. بازهم در فرانسه، برای آزمایش، بعضی از سایتهایی که در آغاز سده نوزدهم برای پستهای تلگراف شاپ ساخته شده بودند، برای این کار اشغال کردند.

همان‌طورکه بعدها خواهیم دید، سیستم ماهوارهٔ *Telstar* امکان داده است که از سال ۱۹۶۲ ارتباطات مستقیم بین اندوور[1] در ممالک متحدهٔ امریکا با پلوموربودو[2] در فرانسه برقرار شوند. از این ارتباطات نخست برای رلهٔ تلویزیون استفاده می‌شد و سپس که توسط کابلهایی انجام گرفت، از این ارتباطات ماهواره‌ای، بسرعت برای مکالمات تلفنی استفاده شد. پس از آزمایشی که بین سالهای ۱۹۶۵ و ۱۹۶۹ با ماهوارهٔ آزمایشی *Early Bird* انجام گرفت توانستند مدار دورتری از زمین را پوشش دهند و بویژه نواقص آنتنهای با جابه‌جایی وسیع سمتی و ارتفاعی در بالای افق را از بین ببرند. ماهواره‌هایی که در ۳۶۰۰۰ کیلومتری بالای زمین می‌گردند جانشین سیستم ماهواره‌ای پوششی شدند. ردیف ماهواره‌های intelstat 3 در سال ۱۹۶۹ عهد اکتشافات «چند رابطه‌ای» را گشودند، یعنی یک ماهواره می‌توانست ارتباط چندین مرکز زمینی را که در مقیاس

1. Andover 2. Pleumeurbodou

جهانی دوبه‌دو گرفته می‌شد، برقرار سازد. این ماهواره‌ها در ردیف بسامدی 6GHZ عمل می‌کنند، و پس از فزونسازی به‌کمک لامپ با موجهای پیشرونده در ردیف بسامدی 4GHZ از نو پخش می‌شوند. دیده می‌شود که بین این تکنیک و تکنیک دسته اشعهٔ هرتسی محلی نوعی ارتباط وجود دارد. رؤیت بین ماهوارهها و مراکز زمینی در اینجا هم باید مستقیم باشد.

پژوهشها و کارهای تازه: از میان راههای پژوهشی که از حدود بیست سال پیش گشوده شده‌اند می‌توان از کاربرد «موجبر»ها در مکالمات تلفنی نام برد. این تکنیک شباهتهایی از یکسوی با کابلهای هم مرکز، و از سوی دیگر با دستهٔ اشعهٔ هرتسی دارد. قطعهٔ موجبر را می‌توان با کابل هم مرکزی مقایسه کرد که سیم مرکزی آن را حذف کرده باشند. موجهای الکترومغناطیسی با بسامد حدود 30GHZ، یعنی با طول موج کمتر از سانتیمتر برده می‌شود، و بدین‌ترتیب در همه مسیرهایشان برده می‌شوند. موج‌برها، همچون فیدرهای آنتنها در فواصل بسیار کوتاه در ایستگاههای دسته اشعه‌های هرتسی یا فرستنده‌های تلویزیونی به‌کار گرفته می‌شوند. در فرانسه، نخستین ارتباط، در فاصلهٔ ۱۰ کیلومتر در سال ۱۹۷۱ بین یک مرکز در پاریس و یک فرستنده با دسته اشعهٔ هرتسی (پاریس، خیابان سن آمان، و برج مودون) انجام گرفت.

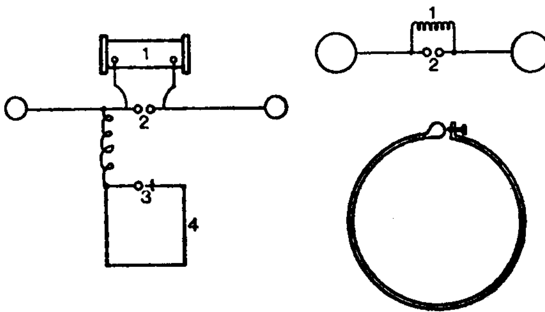
در دهه‌های اخیر، تکنیک تلفن در بسیاری از کشورها برای تأسیس شبکه‌های فضای مخابرات مخصوص تله انفورماتیک جهت اتصال مراکز مهم محاسبهٔ الکترونی به‌کار گرفته شده است.

۳

ارتباطات رادیویی و الکترونیک

رشتهٔ الکترونیک از مهمترین دستاوردهای نیمهٔ نخست سدهٔ بیستم است، نه‌تنها از جهت نوع آثاری که پدید می‌آورد یا کنترل می‌کند یا بالاخره، کاربرد تقریباً عمومی این آثار، بلکه همچنین از لحاظ خصیصهٔ ویژه‌ای که این رشتهٔ جدید واجد آن است. در زمان ما معمولاً آن را به‌چشم رشتهٔ جریان ضعیف می‌نگرند، که در برابر برق با فشار قوی است. اما این اصطلاح هیچ‌گونه دقتی ندارد و آقای ژ. کازنوب[1] که مدتها پیش ساختارهای فنی رادیو الکتریسیته را بررسی می‌کرد، در واقع نشان داد که یک لامپ تحمیل سرعتی که در ساختمان یک شتابده ذرات به‌کارگرفته می‌شود میزان قدرتی در ردیف مگاوات می‌دهد. در سراسر تاریخ رادیو الکتریسیته که به الکترونیک کشیده شد، به کوششهای تکنسین‌ها برای افزایش قدرت فرستنده اشاره شده است. نتیجهٔ کار این بود که تفاوت اساسی برق و الکترونیک، پیوسته بودن پدیده‌های اولی در مقابل گسسته بودن پدیده‌های دومی است. اما این تظاهرات، در حقیقت، اصالتی ندارند. برق را رساناها و به‌طورکلی برای کاربردهای صنعتی، کابلها انتقال می‌دهند، درحالی‌که الکترونیک رشتهٔ گسیلهای دسته‌های الکترون در خلأ یا دی الکتریکهاست. همین نویسنده با نظر آقای موریس پونت[2]، که به پدیده‌های فزونساز ارزش

1. J.Cazenobe 2. M. Ponte



شکل ۴۱.نمایهٔ تجربه‌های هرتس.
سمت چپ: مونتاژ ۱۸۸۷؛ سمت راست: مونتاژ ۱۸۸۸.
۱. قرقرهٔ القا؛ ۲. مولد راه‌انداز؛ ۳. میکرومتر؛ ۴. همنواگر.

داده بود، استفاده کند. وی در نخستین آزمایش خود، مولد راه‌انداز و همنواگر (رزوناتور) را با یک سیم به‌هم متصل ساخت (شکل ۴۱)؛ همنواگر به‌جای ضربه‌های جریانها، پدیده‌های موج‌واره را منتقل می‌ساخت و آثاری که در فضا پخش می‌شدند در فاصلهٔ چند متری قابل تشخیص بودند. این دستگاه با آشکار کردن موجهای الکترو مغناطیسی در فاصلهٔ دور، به‌طورکلی توانست نظریهٔ ماکسول را بدون اینکه به تحقیق پیاپی همهٔ فرضیه‌هایش نیازی باشد، به‌اثبات برساند. وی در چنین موقعیتی، آزمایش ۱۸۸۸ خود را انجام داد.

دستگاه هرتس اینک بسیار ابتدایی می‌نماید. این دستگاه از دو قسمت اساسی ساخته شده است: مولد راه‌انداز و همنواگر. راه‌انداز دارای یک قرقره رومکورف است که قطبهای سیم‌پیچ ثانوی آن به دو انشعاب یک خازن وصل شده است. این خازن از میله‌های افقی تشکیل شده که هر یک در دو انتهای خود دو گوی را که نقش خازن را دارند حمل می‌کرد؛ سرهای مجاور یکدیگر، ساچمه‌های فلزی کوچک و صیقلی شده‌ای بودند که بین آنها جرقه‌هایی زده می‌شد که موجهایی به طول چند متر پدید می‌آوردند.

دستگاه همنواگر، یک حلقهٔ سیمی ساده به‌قطر ۳۵ سانتیمتر بود. این سیم قطع شده بود و سرهای آن به هر دو قسمت یک جرقه‌زن وصل می‌شد که یکی شامل یک پیچ میکرومتری بود که دهانهٔ چاک را تنظیم می‌کرد. جرقه‌هایی که در این دهانه ایجاد می‌شدند چنان ناآشکار بودند که می‌بایست از عدسی و زمینه‌ای سیاه برای دیدن آنها کمک گرفت.

این جرقه‌ها از جریانی تپنده دارای بسامد زیاد که از فاصلهٔ دور در حلقه القا می‌شد، پدید می‌آمدند. آقای هرتس بدین‌ترتیب تشکیل موجهای ماکسول و نیز چند خاصیت آن را که سبب شباهت آنها به امواج نوری می‌شود، روشن ساخت.

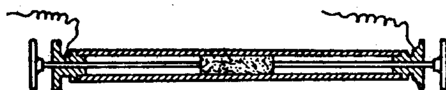
هرتس ظاهراً در سال ۱۸۹۴ در سن ۳۷ سالگی مرد. یادداشتهای وی بسرعت انتشار یافتند و فیزیکدانان متعددی تجربهٔ وی را، بدون اینکه در آغاز نتایج تازه‌ای به‌دست آورند، تکرار کردند. تجربه هرتس فی‌نفسه، خصلت یک نوآوری مطلق را نداشت. مشاهدات فراوانی که طی چند دهه انجام گرفتند خصلت نوسانی تخلیهٔ برقی یک خازن، ازقبیل یک بطری لید را مورد سؤال قرار دادند، مثلاً مشاهدات جوزف هنری در ۱۸۴۲ و ویلیام تامسن در ۱۸۵۳؛ و نیز اینکه این تخلیه در اثر تشعشع در فضای انرژی خود، از دور مشاهده پذیر باشد، کارهای ایلایهو تامسن در ۱۸۷۱ و جورج فیستنر جرالد در ۱۸۸۰. اما هیچ‌کدام از این مشاهده‌ها، ربطی به‌نظریه کلی نداشتند، و تنها هرتس بود که آن را نشان داد و بیان کرد.

با تأیید آزمایش هرتس، تحول در جهت تلگراف بی‌سیم، از چهار دیواری آزمایشگاههای علمی بیرون آمد.

لولهٔ برادهٔ برانلی: در حقیقت هنوز چند کار جزیی باقی بود که سازندگان این رشته وسایل تجربی در آینده آنها را انجام دادند، اما این کارها هنوز هیچ ارتباطی با قطعی شدن فرستادن علایم به جاهای دوردست نداشتند. تنها کشف تغییر رسانایی گرده‌های فلزی، در اثر جرقه‌ای که از دور ایجاد می‌شود به این مهم دست یافت، و این کار آقای ادوارد برانلی[1] ضمن بقیهٔ کارهایش در خلال سالهای ۱۸۸۵ تا ۱۸۹۰ بود.

این پدیده در آغاز در اثر نور یک قوس برقی بر ایجاد یک جرقه در دو نوک یک قرقرهٔ القا مطرح شد. خود آقای هرتس و سپس شمار فراوانی از آزمایشگران در سالهای معدودی به این پدیده دل بستند. اما آقای برانلی به موضوعی که مسألهٔ روز بود توجه کرد و کوشید معلوم کند که اشعهٔ فوق بنفش بر رسانایی فلزات چه تأثیری دارد. وی چند آزمایشی را که آقای کالتسکی اونستی[2] ایتالیایی روی گرده‌های فلزی انجام داده بود تکرار کرد و به‌مشاهده‌ای دست یافت که وی را بلندآوازه کرد. یک لولهٔ کوچک پر از برادهٔ آهن وارد مدار می‌شود (شکل ۴۲). این لوله در مدار، رفتار مقاومتی را دارد که به رسانا تبدیل می‌شود، یعنی چنانچه از دور در معرض آثار تخلیهٔ برقی قرار گیرد، بخشی از مقاومت آن از میان می‌رود. اثر نور برقی دیگر مطرح نبود و آقای برانلی دریافت که رسانایی در اثر امواج الکترو مغناطیسی منتشر شده بوسیلهٔ جرقه زدن ایجاد شده است. وی بعدها به لولهٔ برادهٔ

1. E.Branly 2. Calzecchi Onesti



شکل ۴۲.لولهٔ برادهٔ برانلی.
قطع و وصل کن لاج که «وا شدن» را تأمین می‌کند، در زیر لوله نموده شده است.

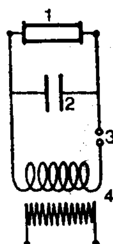
خود نام رادیوکندکتور داد و آقای آلیور لاج در سال ۱۸۹۴ آن را کوهرر[1] نامید. این فیزیکدان انگلیسی، ابزار لرزنده‌ای طرح کرد که با ضرباتی به‌حالت مقاومت اولیهٔ خود برمی‌گشت، یعنی «کوهرر» می‌شد. آقای برانلی همچنین متوجه شد که کوهرر به جریانهای ضعیف، حساس است، کیفیتی که تفسیری مهم از این پدیده بود و بعدها توانستند آن را توضیح دهند.

بدین‌ترتیب دیده می‌شود که برانلی، خلاق نخستین آشکارساز موجها بود ـ وسیله‌ای که می‌توانست در یک گیرنده، حتی در زمانی‌که تحقیقات عملی برای انتشار و به‌کارگیری آنها جهت انتقال پیام، تازه روبه‌راه شده بود، به‌طور مؤثری عمل کند. در این دوره، خود برانلی، فقط پیش‌بینی می‌کرد که رادیوکندکتور وی می‌تواند برای آزمایشگران دیگر سهیم در پیدایش ارتباطات رادیویی مفید واقع شود. گرچه ویژگی این کوهرر بزودی شناخته و به‌کار گرفته شد، کاربرد عملی آن چند سال بعد بود. این وسیله در آزمایشگاه به‌عنوان یک ابزار مؤثر خود را ناتوان نشان داد اما درکار نخستین مراحل تلگراف بی‌سیم این‌طور نبود و سرنوشت آن در این رشته رقم خورده بود.

بعضی پیش‌آهنگان: تسلا کارهای دیگری بودند که با آنکه جنبه‌های فنی داشتند، به‌عهدهٔ آزمایشگاه گذاشته شدند، که از آن میان کارهای نیکلا تسلا و آلیور لاج را باید نام برد.

آقای تسلا، همان‌طورکه می‌دانید از سال ۱۸۸۴ مقیم ممالک متحدهٔ امریکا شده بود. در سالهای پس از آزمایش هرتس در ۱۸۹۰ و ۱۸۹۱ وی رشته آزمایشهایی را آغاز کرد که درگذشته برای انتقال انرژی به‌شکل علایم به فواصل دور بود. با این‌حال، چنانچه مشکلات مالی سبب کنار گذاشتن قطعی آنها در سال ۱۹۰۰ نمی‌شد، این آزمایشها می‌توانستند به نخستین سیستم ارتباطات هرتسی راه یابند. وی در آغاز توانست موجهایی با طول زیاد، از ۱۵ تا ۳۰ هزار متر پدید آورد و درپی یافتن ابزاری برای کاربرد تناوبگر (آلترناتور) با بسامد زیاد برای فرستادن موجهای پایدار (نامیرا) برآمد. امواج مربوط به جرقهٔ الکتریکی امواج ناپایدار (میرا) بودند و این وسیله گویا مدت سه دهه پس از آن هم منحصر به‌فرد بود. وی وسایل تأمین همنوایی لرزشها بین مدار گیرنده و فرستنده را بررسی کرد و موفق شد. این مشکل میزانسازی بعدها گویا دلمشغولیهای زیاد نخستین

1. coherer



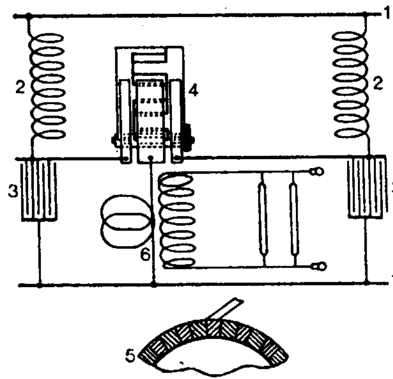
شکل ۴۳.دستگاه تسلا (۱۸۹۱) برای جریانهای دارای بسامد بالا.
تسلا درپی آن بود تا با جرقه‌های الکتریکی به جریانهای دارای بسامد بالا دست یابد.
۱. قرقرهٔ القا؛ ۲. خازن؛ ۳. دهانهٔ جرقه‌زن؛ ۴. ترانسفورماتوری که ورودی آن، مدار تخلیهٔ الکتریکی خازن را در جرقه‌زن تشکیل می‌دهد؛ در مدار خروجی، ولتاژ بسیار بالاست.

پژوهندگان تلگراف بی‌سیم بوده است. در سال ۱۸۹۲، دستگاه وی در ممالک متحدهٔ امریکا توسط ایلایهو تامسن، و در فرانسه بوسیله اوژن دوکرته[1]، که این رشته تازه را به‌جایی رسانید، ساخته شد (شکلهای ۴۳ و ۴۴). اما هنوز برای انتقال علایم آماده نبود و تنها برای رشته‌های پزشکی تازهٔ مبتنی‌بر تأثیر فرضی جریانهای با بسامد بالا بر دستگاههای زنده به‌کار گرفته شد.

آقای تسلا چند سال بعد توانست پیامهایی را توسط رادیو الکتریک انتقال دهد،اما همه آنها جنبهٔ آزمایشی داشتند و پنهانی انجام گرفتند. در لحظه‌ای که وی آغاز به ساختن وسیلهٔ خود در مقیاس عملی کرد، سرمایه‌ای که در اختیار داشت بسرعت جذب شد و ناگزیر این کار را رها کرد.

... آلیور لاج: این‌فیزیکدان انگلیسی از کسانی بود که آزمایش هرتس را بسرعت دنبال کردند و اهمیت آن را باز نمودند. وی لولهٔ برانلی را بررسی کرد و از آن برای نمایشهای خواص گوناگون امواج الکترو مغناطیسی سود گرفت. وی همچنین مسائل پیچیدهٔ مربوط به تطابق مدارهای آنتنهای گیرنده و فرستنده را بررسی کرد. گرچه وی مانند تسلاکارهای خود را تا گسیل علایم تلگرافی دنبال نکرد، در سالهای پایانی سدهٔ نوزدهم چندین اختراع را به‌ثبت رسانید که مارکونی بعدها پس از تحمل محاکمات طولانی، ناگزیر از خرید آنها شد. کاربرد کوچکی از اختراع به‌ثبت رسیدهٔ لاج با تأخیری زیاد پیش آمد. در سال ۱۹۰۱ زمانی‌که مارکونی به‌طور وسیعی سرگرم تدارک وسایل بود شرکت Lodge-Muirhead Sydicate ایجاد شد، که گویا همهٔ فعالیت آن محدود به بستن قرارداد با این مبتکر ایتالیایی بود و در سال ۱۹۱۲ که مذاکرات پایان یافت، آن شرکت هم برچیده شد.

1. E.Ducretet



شکل ۴۴.دستگاه تسلا، برای جریانهای دارای بسامد بالا، از طریق جریان مستقیم.
۱. رسانای جریان مستقیم؛ با اتصال موازی، قرقره‌های خودالقای ۲. که با خازنها ۳، دارای اتصال زنجیری هستند؛ ۴.کوموتاتور گردان، از هر طرف، یک جاروبک (زغال) با نوار مستقیمی اصطکاک دارد، هر دو جاروبک با خازنها از دو طرف اتصال دارند. برش وسط کوموتاتور در ۵ دیده می‌شود. جاروبک میانی با واسطهٔ کنتاکتگرهایی متناوباً با هر یک از جاروبکهای دو طرف اصطکاک می‌یابد. جاروبک با ورودی ترانسفورماتور ۶ اتصال دارد که سر دیگر آن با مدار جریان مستقیم ارتباط دارد. خازنهای ۳ به هنگام عمل، بتناوب در ورودی ۶ تخلیه می‌شوند.

. . . **آلکساندر پوپوف و دوکرته:** گسیل رادیویی علایم در قسمت ساخت وسایل فنی عملی توسط دو مبتکر وارد مرحلهٔ تجربه شد. این دو نفر تقریباً در یک سال به نتایج مشابهی رسیده بودند. یکی از آنها، آقای پوپوف روسی مسنتر از رقیبش ـ گولیلمو مارکونی ـ بود و ظاهراً ۳۲ سال پیش از او، در ۱۹۰۵، وفات یافت. این موضوع نشان می‌دهد که کار پوپوف، در حد فعالیت مارکونی پیشرفت نداشته است. وانگهی باید توجه داشت که مارکونی، که نسبتاً ثروتمند بود، زمانی‌که در ۱۸۹۶ تصمیم به‌رفتن به انگلستان برای کار گرفت، این امتیاز را داشت که جهت این نوآوری بسیار جالب از شرایط بهتری برخوردار باشد.

کار شخص پوپوف از لحاظ زمانی‌که در آن تحقیق می‌کرد ارزش انکار ناپذیری دارد، این زمان بسیار کوتاه، از ۱۸۹۴ تا ۱۹۰۰ بود، اما روی مسائل اساسی مورد توجه تجربه‌گران علمی، نظیر لاج، یا نوآوران پراگماتیستی از قبیل گولیلمو مارکونی کار کرد. آقای پوپوف هم مانند دیگران از لولهٔ

برادهٔ برانلی و ابزار مکانیکی جدا کننده (دکوهرر) در پایان علامتهای فرستنده استفاده کرد. وی، بدین‌ترتیب، توانست مدار گیرندگی را بهتر کند و علایم حقیقی مورد نظر را گسیل دارد. وی از آنتن، که آقایان تسلا و لاج آن را بررسی کرده بودند، برای گسیل و گیرندگی استفاده کرد. نخستین نتیجه‌ای که به‌دست آورد ربایش تخلیه‌های صاعقه بود. در سال بعد، ۱۸۹۶ وی توانست نام هاینریش هرتس را به فاصلهٔ ۲۵۰ متر، با استفاده از یک دستگاه فرستندهٔ و یک رسام روی نوار کاغذی مورس، با تلگراف بی‌سیم گسیل کند. مقامات کشوری وی را بعداً مأمور بررسی وسایلی برای برپا داشتن اتصالات بی‌سیم بین ساحل بالتیک و ناوهای نیروی دریایی روسیه کردند.

در این دوران، هنوز تنها غلبه بر فواصل کوتاه مطرح بود، آقای اوژن دوکرته، سازندهٔ فرانسوی، کسی که پوپوف برای ساختن این دستگاهها جهت ناوگان روسیه به وی مراجعه کرد، بتازگی با الهام از کارهای تسلا و لاج، نخستین ارتباط بسیار هیجان‌آور و نمایشی بین برج ایفل و پانتئون، فاصلهٔ حدود چهار کیلومتر را برقرار کرده بود.

آقایان دوکرته و پوپوف اختراع مشترک دیگری را در سال ۱۹۰۰ دربارهٔ نخستین روش قرائت صدایی علامتهای مورس به‌ثبت رسانیدند. این اختراع بعدها بنوعی تکنیک گیرندگی پیامها تبدیل شد ـ تکنیکی که انعطاف‌پذیری و سرعتی بیش از چاپ روی نوارهای کاغذی داشت. این دو فیزیکدان نام رادیو تلفن را به این سیستم گیرندگی شنودی دادند. اما رادیو تلفن حقیقی، تا سالهای ۲۰ و کاربرد لامپهای خلأ در فرستنده‌ها و نیز گیرنده‌ها امکانپذیر نشد.

در سال ۱۹۰۰ یک پرسنل اپراتور تعلیم دیده برای خدمات معمولی تلگراف وجود داشت که می‌توانست علایم ارسالی دارای توان بسیار کم را به‌شکل صدا دریافت کند و آنها را در میان علامتهای دیگر از لحاظ طنین و ضرباهنگ دستگاه فرستنده، بازشناسد. بعدها کاربرد گالن (PbS) این تکنیک دریافت‌کنندگی را آسان ساخت. حتی پس از به‌کار گرفتن فزونسازها، قرائت صدا باز هم مورد استفاده‌های فراوان داشت. آقای دوکرته همچنین توانست اتوترانسفورماتور دکتر اودین[1] سال ۱۸۹۸ را که ایجاد جریانهای دارای بسامد و ولت بالا را ممکن می‌ساخت ـ وسیله‌ای شبیه ترانسفورماتور با بسامد بالای تسلا ـ بشناساند. اما گویا وی مانند آقای پوپوف از لحاظ مالی بسیار در فشار بود و ناگزیر شد که از سال ۱۹۰۸ به‌علت وضع بد بدنی، حرفهٔ خود را رها کند.

تغییر مسیر کارهای تجربی: بدین‌ترتیب، در بین رقبای سرسخت، آقای گولیلمو مارکونی مقام نخست خود را حفظ کرد. بجاست که برای نشان دادن اوضاع و احوالی که تلگراف بی‌سیم در آن ناگهان به‌عنوان یک تکنیک آشکار درخشید، چند کلمه‌ای بگوییم. در سالهای ۱۸۹۷ و ۱۸۹۸

1. Dr Oudin

برای ساخت یک دستگاه عملی، رقابتی واقعی در جریان بود. آقای برانلی به‌طور تصادفی قطعهٔ مورد نیاز مدار گیرندهٔ آن زمان را ساخته بود، درحالی‌که ساخت قطعات دیگر مستلزم تکنیکهای پیشرفته‌تری بودند. از آنجاکه ارتباطهای ابتدایی در فواصل چند ده و سپس چند صد متر برقرار شده بود، امید ارتباط به فواصل در ردیف کیلومترها بی‌پایه نبود. این رشته دیگر از محدودهٔ آزمایشگاهی بیرون آمده و در ایستگاههای آزمایشی دستخوش اصلاحات پی‌درپی شده بود. در این مرحله عوامل مورد نیاز عبارت بودند از: ذوق سلیم، درک قوی و سرمایه‌ای بسیار زیاد ـ امتیازهایی که مارکونی از آنها برخوردار بود.

در طی دو دههٔ پایانی سدهٔ نوزدهم، چندین مجادلهٔ قلمی دربارهٔ قدمت بین شخصیتهایی که در ایجاد تلگراف بی‌سیم دست داشتند درگرفت که بعدها به هواداران آنها نیز سرایت کرد. این مجادله‌ها، زمانی‌که بین دو جنگ اخیر، سودمندی کلی ارتباطات رادیویی آشکار شد شدت یافت. اعتراضات دیگری نیز به این سروصداها افزوده شد که همان‌طورکه خواهیم دید، مربوط به‌ثبت اختراعاتی بود که روشها یا وسایل بسیار پیشرفته را دربر می‌گرفت. این امر بخوبی نشان می‌دهد که پیدایش و گسترش تکنیکهای ارتباطات رادیویی، یک کار گروهی بود و اهمیت هر دستاورد فردی را باید دقیقاً در مجموعهٔ این کار گروهی ارزیابی کرد. علاوه‌بر دغدغه‌های سود مالی، که پس از مدت کوتاهی، رفته‌رفته، ضعیفتر شدند، پایهٔ این مجادلات قلمی بسیار گزنده، برای رشته‌های علمی و فنی کاملاً بیگانه بود. افتخار پیدایش ارتباطات رادیویی و نیز الکترونیک، از لحاظ تاریخی کمتر از برق صنعتی و نه بیشتر از انرژی اتمی به این یا آن محقق بستگی دارد.

درواقع، پس از کارهای آزمایشگاهی، مهندسی لازم بود تا از کارهای آنان استفاده کند؛ این مهندس آقای مارکونی بود. وی برخلاف گفتار بعضی از نویسندگان شرح حال وی، شاگرد آقای اوگوستوریگی[1] نبود. ریگی نخستین کسی بود که آزمایش هرتس را در ایتالیا تکرار کرد و از یک آشکارساز شبیه دستگاه گایسلر برای ایجاد تخلیه در یک گازکمیاب، به‌عنوان یک لولهٔ براده استفاده برد. اما کارهای ریگی، مارکونی را بشخصیتی سوق دادند که با آن همه برازندگی بدان دست یافت.

شایستگی مارکونی درگردآوری کارهای پیشینیان خود در وهلهٔ نخست برای ابداع یک تکنیک کاربردی و صنعتی بود. مرحلهٔ پژوهشهای علمی با او به‌پیش رفت و پژوهشهای صرفاً فنی اوج گرفت. این پژوهشها بیش از چهل سال ادامه داشتند بدون اینکه راهی برای تکیه بر مبانی علمی بیابند. تفسیر علمی به‌دنبال پیشرفتهای فنی، کم‌وبیش با موفقیت همراه بوده است اما غالباً در انبوهی از فرضیات اثبات ناشدنی سردرگم می‌ماند. این تفسیر تنها زمانی به‌طور مؤثری به‌هدف

1. *Augusto Righi*

نزدیک شد که ما به دههٔ چهارم سدهٔ بیستم گام نهادیم. این یک ویژگی تاریخ این رشته است که در تاریخ هیچ رشتهٔ دیگر تکنیک معاصر با آن روبه‌رو نمی‌شویم.

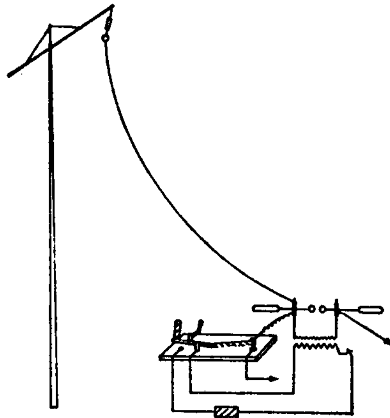
کارهای مارکونی: نخستین کارهای مارکونی در ایتالیا، در سال ۱۸۹۵ در حوالی بولونیا انجام گرفتند. این کارها به وی امکان داد که علاوه‌بر مسائل دیگر، با نقش آنتن و سیم زمین هم آشنا شود. وی که توانسته بود یک پیام نوشته شده روی نوار تلگراف مورس را در فاصلهٔ ۲۴۰۰ متری دریافت کند در رشته مورد علاقهٔ خود مصمم شد و در سال پس از آن، که وی تنها ۲۲ سال داشت، سرمایه والدینش وی را وسوسه کرد که به انگلستان سفر کند، زیرا محیط تکنسین‌ها و مدیران در آن زمان در آنجا فریبنده‌تر از ایتالیا بود.

وی پس از چند کار و نتیجه‌گیریهای تازه، که یک ارتباط جالب ۱۳ کیلومتری از فراز مصب رودخانهٔ سورن[1] از آن‌جمله بود توانست شخصیتهای با نفوذ را تحت تأثیر قرار دهد. در سال ۱۸۹۷ وی که ثروتی افسانه‌ای برای آن زمان داشت (۱۰۰۰۰۰ پوند استرلینگ) نخستین شرکت تلگراف بی‌سیم: Wirless Telegraph & Signal Ltd Co را تأسیس کرد. آقای لاج در چهار سال بعد هم نتوانست بیش از نیمی از مبلغ بالا را گردآورد. مارکونی نسبت به لاج امتیاز خوبی داشت. وی در ۱۸۹۶ نخستین اختراع خود را که چند اختراع دیگر درپی داشت به‌ثبت رسانیده بود و از همان ساعتهای اول قصد خود را در ایجاد یک انحصار جهانی اظهار داشته بود. مارکونی، در واقع بسرعت توانست پشتوانه‌های مالی در کشورهای متعدد به‌دست آورد. شعبه‌ای از وی در امریکا در ۱۸۹۹ تأسیس شد، سپس شعبهٔ دیگری در کانادا، آرژانتین، فرانسه، روسیه، اسپانیا و بلژیک. بعدها، شبکهٔ این شرکتها به‌یکدیگر مربوط شدند و نقش مهمی در انتشار سریع پیشرفتهای ارتباطات رادیویی در جهان بازی کردند.

مارکونی در پرتو وسایلی که در اختیار داشت ترقی سریع کرد و در ۱۸۹۹ توانست از دوور از فراز کانال مانش به ویمرو[2] (در پادوکاله) به افتخار برانلی که از لولهٔ برادهٔ وی در دستگاههایش (شکل ۴۵) استفاده کرده بود تلگرافی مخابره کند. در باب چنین تلگرافی در گذشته سخن بسیار گفته شده است.

در همین سالها، کارهای مشابهی در کشورهای دیگر انجام گرفتند. در ۱۸۹۷ آقای آدولف اسلابی[3] با استفاده از وسایلی مشابه پوپوف و مارکونی (آنتنهای بزرگ سوار بر بالونها) پیامی را به‌فاصله ۲۱ کیلومتر مخابره کرد. آقای پوپوف در سال بعد توانست بر فاصلهٔ ۴۵ کیلومتر اطراف کرونشتات فایق آید، و دستگاههای ساخت دوکرته با همکاری پوپوف طی یک رشته آزمایشهایی

1. Severn 2. Wimereux 3. A. Slaby



شکل ۴۵.دستگاه مارکونی.
جزئیات دستگاه فرستنده در این نمایه دیده می‌شود؛ در سمت چپ، فرستندهٔ مورس است. در گیرنده هم از همین آنتن استفاده می‌شود، دستگاه فرستنده زمانی‌که متوقف است، ارتباط با گیرنده را که مجهز به لولهٔ برادهٔ آهن (کوهرر)، یک وسیله وا شدن و یک گیرنده مورس است تأمین می‌کند.

که دریاداری فرانسه انجام داد، به‌همین نتیجه دست یافتند. حوادث گوناگون دریایی، تصادف یک کشتی بویه‌دار با یک کشتی باری در نزدیکی دوور، به‌گل نشستن یک کشتی روس در خلیج فنلاند بهانه‌هایی برای ثابت کردن اهمیت ارتباطات رادیویی در ۱۸۹۹ بود. رفته‌رفته نیروهای دریایی همهٔ کشورها به این وسیله جدید ارتباط بسیار علاقمند شدند. در اکثر این موارد آنها به مارکونی، که فعالیتهای چشمگیر خود را افزایش می‌داد، مراجعه می‌کردند. مثلاً در سال ۱۸۹۸ وی نخستین مخابرهٔ رادیویی خبر را به‌حساب یک روزنامهٔ دابلین در مورد مسابقات قایق سواری در سواحل ایرلند، انجام داد.

مارکونی که همیشه پیشاپیش رقیبانش گام برمی‌داشت وسوسه شد که اقیانوس اطلس را پشت سر گذارد. وی بدین‌منظور در ناحیهٔ پولدهو[1] در نزدیکی کورنوال، نخستین فرستندهٔ پرقدرت kW ۱۲ با یک آنتن بزرگ دارای شکل مخروط واژگون، با ۶۰ متر ارتفاع و ۶۰ متر قطر برپا داشت. وقتی‌که طوفان این آنتن را درهم ریخت، به‌جای آن آنتنی با گستردگی ۶۵ متر نصب کرد. در این قسمت از وسیله‌ای استفاده کرد که در سال ۱۹۰۰ اختراع آن را به‌ثبت داده بود. این وسیله با

1. Poldhu

پیوست کردن مدار آنتن و مدار نوسان در هر پست توسط جریان القایی، کیفیت ارسال و گیرندگی خبر را بهبود بخشید. آقای جان امبروز فلمینگ که از جمله نخستین همکاران وی بود و دو سال بعد از این، دیود را اختراع کرد، فرستنده را برپا داشت. آنتن گیرنده توسط بالون و بادبادک در نیوفندلند در ۱۳۰ متری بالای زمین نگاه داشته شد. مارکونی نخستین علامتها را از پولدهو در پایان ۱۹۰۱ با کمک یک آشکارساز قطره جیوه‌ای و یک هدفون، از ۳۴۰۰ کیلومتری دریافت داشت.

شرکتی که در ۱۸۹۷ تشکیل شده بود به Marconi Wirless تغییر نام داد و بسرعت گسترش یافت. این شرکت کشتیها را برای ارتباط با خشکی مجهز می‌کرد و در ۱۹۰۷ نخستین ارتباط عمومی ایرلند و کانادا را برقرار ساخت.

کارهای اولیه درکشورهای دیگر اروپا: آقای فرسینه[1] وزیر جنگ فرانسه، برای آزمایشهای مارکونی در پادوکاله در ۱۸۹۹، کاپیتن گوستاو فریه[2] را مأمور نظارت آن آزمایشها کرد. فرسینه که ازگزارشهای دریافتی به‌شوق آمده بود، کاپیتن را مأمور کرد که یک تلگراف بی‌سیم نظامی تأسیس کند. آقای فریه تقریباً بدون هیچ وسیلهٔ مادی کار را شروع کرد و توانست در پرتو اطلاعات فنی، انرژی و ایمان خود و نیز کمکهای آقای ایفل که برج خود را به‌عنوان نگاه‌دارندهٔ آنتن در اختیار وی گذاشته بود، استحکامات مختلفی و بویژه استحکامات شرق را با پاریس مرتبط کند. پس از بلیهٔ آتشفشانی ۱۹۰۲ که سن پیر مارتینیک را ویران کرد و همهٔ ارتباطات تلفنی که این جزیره را با جهان خارج مربوط می‌ساخت از بین برد، فریه مأمور شد که این ارتباطات را به‌طور بی‌سیم برقرار سازد، و مأموریت خود را هم کاملاً به‌انجام رسانید.

نیروی دریایی نیز بنوبهٔ خود، منتظر نماند. تیسو[3] سروان دریایی و موریس دو بروی[4] آزمایشهای متعددی انجام دادند. رفته‌رفته دستگاهها پیشرفته شدند و در ۱۹۰۷ رزمناو *Kléber* که در مراکش به آب انداخته شده بود توانست پاریس را با هیئت فرانسوی مرتبط سازد.

در آلمان آقایان آرکو[5] و فردیناند براون[6] گسیل امواج ناپایدار (میرا) را بویژه بهتر ساختند. نتایج کارهای آنان و نیز کارهای قبلی تسلا، ظاهراً با بعضی از اختراعات ثبت شدهٔ مارکونی مخالف بود.

شرکتهایی مشابه شرکت بی‌سیم مارکونی درکشورهای مختلفی تشکیل شدند. مثلاً در ۱۹۰۳ شرکتهای زیمنس و AEG برای استفاده از اختراعات براون و آرکو، شرکت تلفونکن را تشکیل دادند ـ شرکتی که در صنعت جهانی، همیشه در ردیف نخست جای داشته است. در فرانسه، شرکت SFR (سوسیته فرانسز رادیو الکتریک) در ۱۹۱۰ تشکیل شد که بعدها CSF (شرکت

1. Freycinet 2. G.Ferrié 3. Tissot 4. M.de Brozlie 5. Arco 6. F.Braun



شکل ۴۶.خازن موستیستیکی. (Moscicki)
این خازن، یک لولهٔ شیشه‌ای دراز (۶۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر) است که دو سوی آن نقره‌ای و مسی شده‌اند. بدنهٔ بیرونی آن با یک لولهٔ مسی محافظ، که آن را در خود گرفته است، تماس دارد. بدنهٔ درونی آن با نوعی دوشاخهٔ مسی در تماس است. این خازن از آب گلیسرینی پر شده است.

بخش تغذیه کنندهٔ یک ترانسفورماتور استفاده کرد. خازنی این انرژی را ذخیره می‌کرد و در قرقرهٔ جرقه‌زن آن را تخلیه می‌کرد. تخلیهٔ بار برقی تحت تأثیر خودالقایی بوبین، حالت نوسانی داشت که بتدریج مستهلک می‌شد. جرقه‌ها زمانی‌که خازن تحت تأثیر تغذیهٔ توسط تناوبگر، دارای بار اولیه می‌شدند با سرعت ۱۰۰ جرقه در ثانیه زده می‌شدند و بخشی از انرژی نوسانی خود را به آنتن می‌فرستادند. بدین‌ترتیب، قطارهای موجی میرایی پیاپی تولید می‌شدند.

لازم بود که این نوع وسیله، و بویژه خازنها را که بسیار جایگیر بودند و نیز جرقه‌زنها را در آزمایشگاه روبه‌راه کرد. مشکل خازنها توسط آقای ایگناتسی موسیتسیتکی[1] لهستانی، قدری برطرف شد (شکل ۴۶)، و مسأله جرقه‌زنها منجر به طرحریزی وسایل گوناگونی شد ـ جرقه‌زن دیسکی که میان دو سر می‌گردید، با وزش هوا، با جرقه‌های دسته‌ای ـ که هرکدام تنها راه‌حلهای جزئی بودند و معایب متعدد دستگاه برجای ماند.

اساسیترین عیب، تداخل فرستنده‌های مختلف بود. در این دوران، این نوع تلگراف بی‌سیم یک باره رواج گرفت. ایستگاههای ساحلی تلگراف بی‌سیم زیاد شدند وکشتیهای بزرگ با آن مجهز گردیدند. در این زمان در فرانسه هم تلگرافخانهٔ ارتشی شروع شد و با مدیریت فریه، ژنرال آینده، و

1. Moscicki

با شرکت بهترین فیزیکدانان فرانسه، به یکی از ادارات مهم ارتش فرانسه تبدیل گردید. مرکز واقع در برج ایفل، که در ۱۹۰۴ ساخته شده بود در ۱۹۱۰ مجهز به یک فرستنده با جرقه‌های کم با قدرت ۶۰ kW گردید و از همین سال فرستادن نخستین اعلام ساعت بر روی طول موج ۲۶۰۰ متر شروع شد. در کشورهای دیگر هم تأسیساتی با همین قدرت ساخته شدند.

باندهای بسامد موجهای میراکه این فرستنده‌ها ایجاد می‌کردند پهن بود. چون این باندها یکدیگر را متقابلاً می‌پوشانیدند ـ پدیده‌ای که عمومیت داشت ـ کارکنان دریافت که «صداها را می‌خواندند»، در تشخیص علایم فرستنده‌های مختلف، اشکال بزرگی داشتند، با اینکه طول موجها در آن زمان بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ متر تقسیم شده و امکانات ارتباطات هم محدود بود. یک طول موج ۶۰۰ متری برای همهٔ فرستنده‌ها قرار داده شد، اما کاربرد عملی آن انگیزهٔ مجادلاتی بود.

نخستین آرام‌بخشی که به‌کار گرفته شد افزایش ضرباهنگ جرقه در ثانیه و بدین‌ترتیب تأمین بسامد «موزیکال» بود که ردیف آن بین ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ قطار موج در ثانیه است.

نخستین فرستنده از این نوع در ایستگاه مارکونی در پولدهو به سال ۱۹۰۷ برپا شد. این فرستنده که بدنبال پژوهش برای دستیابی به جرقه‌زنهای مؤثرتری، نظیر جرقه‌زنهای با دیسک گردان (شکل ۴۷)، که مارکونی آن را به‌کار گرفته بود یا جرقه‌زن با جرقه‌های گروه‌گروه ماکس وین[1] که شرکت تلفونکن آن را در ۱۹۰۹ ساخته بود تأسیس می‌شد پیشرفتهای بسیار محسوسی با خود داشت.

اصطلاح فرستادن موزیکال تنها این معنی را در خود دارد که از همین زمان می‌توانستند آهنگ موسیقی را هم‌پخش کنند. بسامد فرستادن قطارهای موج، تنها وابسته به بسامدهای صوتی بود و تشخیص مراکز فرستنده‌های مختلف را به‌کمک گوش ممکن می‌ساخت. وانگهی، با این ضرباهنگ، موجها کمتر مستهلک می‌شدند و پهنای باندهای بسامدهای آنها، کاهش می‌یافت. بدین‌ترتیب، توانستند به‌طور محسوسی آثار تداخل امواج را کاهش دهند. وسیلهٔ دیگر کاهش استهلاک موج، تحریک آن به‌کمک ضربه‌های براون بود.

آنتن، وسیلهٔ پخش موج: جریانهای دارای بسامد زیاد که فرستنده ایجاد کرده است باید در فضای انتقال دهنده، به موجهای الکترومغناطیسی تبدیل شوند. درگیرنده، معکوس این جریان باید عملی شود. دیده شد که این تبدیلها در آنتن، یکی از نخستین قسمتهای اختراع شده، انجام می‌گیرند. مثل همیشه، تعیین اینکه چه کسی نخستین بار اندیشهٔ استفاده از آنتن را به‌میان آورد، کار دشواری است. بی‌شبهه، شکل ابتدایی آنتن در میان ابزارهای هرتس یافت شده است. آقای برانلی نیز

1. Max Wien

که در تحقیق اخیری که در مورد انتشار امواج توسط فرستنده‌ای که خصایص فرستندهٔ مارکونی را داشت از روی اقیانوس اطلس انجام گرفت، آشکار شد که این علایم نتوانسته‌اند عبور کنند.

یونکره، بعدها موضوع پژوهشهای فراوانی شد و بسیاری از اسرار آن، برای انتشار امواج رادیو الکتریکی آشکار گردید. این لایه طبعاً هنوز باید مورد مطالعه قرار گیرد و این کار هم جریان دارد. اما یونکره اینک بویژه مسألهٔ تحت مطالعهٔ رشتهٔ زمین‌فیزیک است.

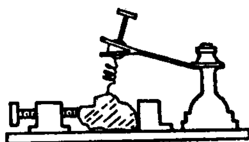
مسائل گیرنده: امواج گرفته شده در آنتن ایجاد جریانهای با بسامد زیاد می‌کنند. مسأله مربوط به تبدیل آنها به یک جریان مستقیم با بسامد کم است که می‌تواند دستگاه مورد استفاده را فعال سازد؛ دستگاهی که می‌تواند اشکال بسیار گوناگون، از تلگراف چاپ کننده تا تلویزیون رنگی در زمان ما را داشته باشد.

هدف هرتس در آزمایشهای خود، تنها آشکارسازی امواجی بود که اکنون نام او را بر خود دارند. وی به مشاهدهٔ با کمک عدسی یک جرقهٔ ریز که در مقطع قاب آن ایجاد شده، راضی بود. همان‌طورکه دیدیم آقای برانلی در ۱۸۹۰ راه‌حل عملی را برای دریافت، با لوله برادهٔ آهنی یافت.

همهٔ پیش‌آهنگان تلگراف بی‌سیم که در گذشته از آنها یاد کردیم از لولهٔ برانلی با تغییراتی در آن، استفاده کرده‌اند تا بتوانند نخستین مراحل تلگراف بی‌سیم را پشت سر گذارند. بعداً برای دستیابی به آشکارسازهای دیگر حساستر و ساده‌تر کوشش شد. مارکونی در سال ۱۹۰۲ نوعی آشکارساز مغناطیسی، متکی بر اصلی ساخت که در سال ۱۸۹۵ آقای رادزفرد بنیان گذارده بود. وی از دستکاری مغناطیس یک دسته سیمهای آهنی که پیوسته در قرقره‌ها و آهنرباها جابه‌جا می‌شدند، استفاده کرد. این نوع آشکارساز بسیار جایگیر بود. آقای فریه در سال ۱۹۰۰ از آشکارساز الکترولیزی با الکترودهای بسیار ناقرینه استفاده کرد. مدار دستگاه الکترولیز، اگر یک جریان با بسامد زیاد دریافت می‌کرد، رسانا می‌شد و در مدت توقف نوسانها بوسیلهٔ یک حباب هیدروژن که در آند دستگاه پدید می‌آمد، جریان قطع می‌گردید. در آلمان آقای شلومیلک[1] و در امریکا آقای فسندن[2] همین پدیده را، در ۱۹۰۳، هر یک جداگانه مورد مطالعه قرار دادند. از آشکارسازهای با کنتاکت ناقص هم استفاده شده است. این آشکارسازها نوکهای ریزفلزی دارند که روی سطوح فلزی، به‌طور آزاد گذاشته شده‌اند؛ اینها را آقای پوپوف در ۱۹۰۰ ساخت.

یک پیشرفت چشمگیر در زمینهٔ حساسیت آشکارساز، با کاربرد بلورهایی به‌دست آمد که کنتاکت آنها با یک نوک فلزی یا بلوری از نوع دیگر، نسبت به جریان، خواص ناقرینه‌ای داشت. اینها اجداد نیمه رساناهای کنونی هستند که دستاوردهای بسیار ارزشمندی می‌باشند. آثار این بلورها

1. Schlöemilch 2. Fessenden



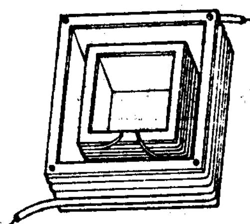
شکل ۴۸.آشکارساز بلوری.
یک سیم فلزی زنگ‌ناپذیر بنوعی لولای کاسه گرد اتصال دارد؛ بدین‌ترتیب نوک این سیستم می‌تواند روی سطح بلور گالن با دست جابه‌جا شود تا نقاط حساس را بیابد.

در پایان سدهٔ نوزدهم شناخته شده بود. آقای کامیل تیسو در ۱۹۰۰ و نیز پژوهشگران دیگری در ۱۹۰۶ با کار انفرادی ـ در امریکا: لویس آستین، گرین لیف[1]، پیکارد[2] و دان وودی[3] ـ دربارهٔ آنها تحقیق کرده بودند. حساسترین آشکارسازهای بلورین، غالباً با کنتاکت نوکی فلزی روی یک بلور سولفید سرب (گالن) بود (شکل ۴۸). متأسفانه این کنتاکت، ناپایدار است و ضربه‌های الکتریکی، بیش از ضربه‌های مکانیکی به‌آن آسیب می‌زند. با این همه، در ۱۹۱۰ از آن استفاده شد، سپس تا زمان ساخته شدن لامپهای تخلیه، که از جنبهٔ صرف آشکارسازی، حساسیت زیاد ندارند، به فراوانی به‌کار برده می‌شدند. پستهای گالنی در سالهای ۱۹۲۰ علاقهٔ شدید آماتورها را به خود جلب کرده بودند.

طرز کار همهٔ این دستگاهها، در این زمان، با پنهان‌کاری شدید همراه بود. اکنون برای تبدیل جریان با سامد زیاد به یک پدیدهٔ مورد استفاده، باید آن را توسط عنصری که تنها در یک جهت اجازهٔ عبور به جریان می‌دهد، یکسوی کرد. جریان ناپیوسته اما یکسوی، در یک سیستم مجتمع به‌دست می‌آید و تقریباً مستقیم می‌شود. همهٔ آشکارسازهای قدیمی و جدید این نقش را دارند و هم در بعضی از لامپها و هم در نیمرساناها، این جریان دیده می‌شود.

مشکل دیگر گیرنده‌ها، گزینش بود که طبعاً موضوع تحقیقات فراوانی شد. این مسأله گرفتن امواج مطلوب، بدون مزاحمت امواج دیگر بود. در این کار، قضیهٔ فرعی، گزینش امواج منتشر، همراه با کاهش استهلاک آنهاست. در گیرنده‌ها کوشش می‌شود تا مدارهایی هرچه باریکتر از همنواگری برقرار شود و برای این کار از مدارهای تطبیق یافته، القاگری ـ ظرفیت، معمولاً چند تایی که به‌طور ضعیفی با یکدیگر جفت شده‌اند، استفاده می‌کنند. این دو سیستم اصلی، که در فرستادن و گرفتن پیام به‌کار گرفته می‌شدند، یکی سیستم «تسلا» نامیده می‌شد که ترانسفورماتور واقعی با ورودی و

1. Greenleaf 2. Pickard 3. Dunwoody



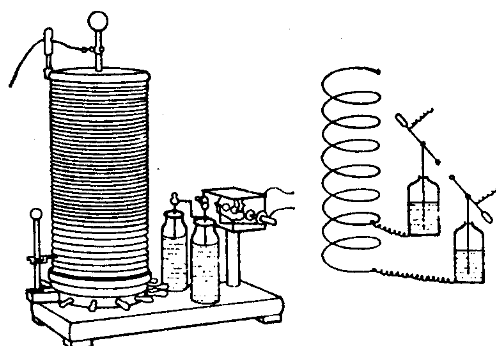
شکل ۴۹.ترانسفورماتور تسلا با مدار تحریک.
مدار ورودی و خروجی این ترانسفورماتور، سیمهای دارای غلاف کائوچویی هستند که روی قابهای گوناگونی پیچیده شده‌اند. سیم‌پیچ ورودی، خودالقاگر مدار راه‌اندازی است. القای سیم‌پیچ خروجی که بین آنتن و زمین [illegible]

خروجی جدا از یکدیگر، با جفتهای کم و بیش نزدیک به‌یکدیگر بود (شکل ۴۹)؛ و دیگری «اودن» که نام آن یادآور وسایلی بود که این پزشک برای درمان با جریانهای دارای بسامد بالا به‌کار می‌گرفت و در واقع، نوعی اتوترانسفورماتور بود (شکل ۵۰). همان‌طورکه دیدیم آقایان پوپوف و دوکرته بودند که خواص آنها را نشان دادند.

اندوکتانس (ضریب القاگری) های مدارهای گیرنده در آغاز مجهز به لغزنده‌هایی بودند تا مقدار مارپیچ گرفته شده، تنظیم شود. در واقع ساخت خازنهای متغیر به‌شکل پیوسته، در آن دوران کار دشواری بود و تغییرات اندوکتانس بسیار ساده تلقی می‌شد. همچنین از مغناطیس سنج (واریومتر) هایی استفاده می‌شد که در آنها اندوکتانس از طریق کوپل شدنهای تنظیم‌پذیر بین دو بوبین با اتصال زنجیری با یکدیگر، تغییر می‌کرد.

خازنهای تنظیم‌پذیر، به اشکال گوناگون ساخته شدند که با ورقهای موازی با یا بدون دی‌الکتریک جامد بین آنها پر می‌شدند: ورقهای مستطیلی لغزنده، ورقهای نیم مدور و گردان تراشیده شده در جرم‌گردان، نیم استوانه‌های گردان و غیره. سپس به راه‌حل کنونی رسیدند: قرار دادن ورقهای پرسکاری شده ضربه‌ای. سرانجام، گیرنده‌ها با یک وسیلهٔ نوشتاری مورس با نوار کاغذی، یا با گوشیهای تلفن برای «خواندن صدا» مجهز شدند. روش اخیر گیرندگی، موضوع اختراع به‌ثبت رسیده پوپوف و دوکرته در سال ۱۹۰۰ است.

تراکم شبکه‌ها: در اوایل سالهای ۱۹۰۰ ارتباطات رادیویی در سراسر جهان گسترده شده بود. علاوه‌بر تجهیزات ساحلی و کشتیهای جنگی و کشوری، ایستگاههای فرستنده ـ گیرنده برای تأمین



شکل ۵۰.اتوترانسفورماتور اودن.
سمت چپ: نمای کلی؛ سمت راست: اصول مونتاژ. آرماتورهای داخلی خازنها به قطبهای یک بوبین القا (دیده نمی‌شود) و به کلافهای یک راه‌انداز که در ظرفی پر از روغن قرار دارند (جعبهٔ سمت راست در نمای کلی) وصل شده‌اند. آرماتور خارجی یک خازن به سر بوبین متصل شده است و سر دیگر آن به قرقرهٔ متحرکی که می‌تواند در طول مارپیچهای پایینی جابه‌جا شود و یک قطب ترانسفورماتور را تشکیل دهد. قطب دیگر ترانسفورماتور، سر فوقانی سولنوئید است.

ارتباط از راه دور، در همهٔ کشورها وجود داشتند. در مورد ارتباطات دریایی، مشکلات ناشی از انحصاری بود که هر شرکت صنعتی مدعی حقوق کاربردی آن بود. دو کنفرانس جهانی، در ۱۹۰۳ و ۱۹۰۶ نتوانست این انحصار را درهم شکند زیرا شرکت مارکونی از طریق پستهایی که این شرکت ساخته بود پیامهایی را که پستهای کارگاههای دیگر می‌فرستادند، می‌گرفت. در این زمان حدود ۳۰۰ واحد از ناوگان کشوری از ارتباطات رادیویی استفاده می‌کردند که اکثر آنها مسافربری بودند. اما چندین شرکت بزرگ صنعتی امریکایی نفتی یا معدنی و در جنب آنها United Fruit Co روی کشتیهای بازرگانی خود بی‌سیم گذاشته بودند. در همین سال ۱۹۰۶ مارکونی با موافقتنامهٔ تشکیل ارتباط جهانی که کمی پس از این کنفرانس بین‌المللی تنظیم شده بود، مخالفت کرد. طبعاً نام کشتیهای جنگی دارای بی‌سیم، اعلام نشده بود. با این وجود، در سال ۱۹۱۲ این اشکال به‌طور رسمی و برای همیشه برطرف شد و ارتباطات دریایی در مقیاس بین‌المللی سازمان یافت. بعضی از گروههای کشتیها را ناگزیر به داشتن بی‌سیم کردند و در ساحل هم ایستگاههای مراقبت شبانه‌روزی تأسیس شد.

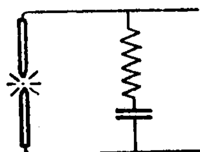
مارکونی پس از این موفقیتها در سالهای ۱۹۰۷ـ۱۹۰۸ در اقیانوس اطلس و سپس در ۱۹۱۰ بین بریتانیای کبیر و آرژانتین خط کشتیرانی عمومی برقرارکرد. انگلستان سریعاً این ارتباطات را به مستملکات عمدهٔ خود در آفریقا و آسیا، با ساحل غربی ممالک متحدهٔ امریکا و جزائر هاوایی گسترش داد. ایستگاهی که شرکت تلفونکن در ژاپن برپا داشت این کشور را در ۱۹۱۵ با هاوایی در بیشترین فاصلهٔ آن روزگار، ۶۵۰۰ کیلومتر، مربوط می‌ساخت.

در طی سالهای پیش از جنگ، قدرتهای اروپایی دست‌به‌کار تأسیس ایستگاههایی در مستعمرات خود شدند: آلمان در توگو و تانگانیکا، در آفریقای جنوبی و حتی چین؛ ایتالیا در اریتره؛ بلژیک در کنگو؛ فرانسه در مستعمرات آفریقایی و آسیایی، در ماداگاسکار، و هندوچین. کشورهای پهناوری نظیر روسیه و بویژه ممالک متحدهٔ امریکا شبکهٔ کم‌وبیش متراکمی ایجاد کردند که اکثر ایستگاههای آنها به کشتیها خدمت می‌کرد؛ ضمناً چند ایستگاه هم به ترافیکهای دوردست می‌پرداخت. باید گفت که در سراسر جهان، کشورهایی که حداقل دارای یک ایستگاه با برد چند صد کیلومتر هم نبودند، نادر بود. در جهان تعدادی ایستگاههای فرستنده بودند که قدرت آنها در پایان جنگ جهانی اول، بین ۵۰ تا kW ۳۰۰ و برد آنها از ۲ تا ۵ هزار کیلومتر تغییر می‌کرد. در سال ۱۹۱۸ ایستگاههای پرقدرت دیگر، نه با جرقه، که با قوس برقی کار می‌کردند.

از میان سازندگانی که بیشترین تعداد تأسیسات را ساخته‌اند، قبل از دیگران باید از شرکت مارکونی و شعبات آن نام برد؛ پس از آن شرکت فارست، تلفونکن، فسندن و بالاخره، چند شرکت فرانسوی هستند که SFR (سوسیته فرانسز دو رادیو الکتریسیته) در ۱۹۱۰ تأسیس شد که نقش ویژهٔ آن، طرح و تهیهٔ این وسایل برای ارتش بود که مدیریت آن را فریه بر عهده داشت. وانگهی، ایستگاههای نیمه جامع در همه کشورها با واسطهٔ وزیر دریاداری یا جنگ، دولتی بودند. شرکتهای خصوصی همچنین انتقال پیامهای مردم را عهده‌دار بودند و شرکت مارکونی بین اسکاتلند و کانادا فعال بود. شرکت یونایتد فروت تأسیسات خصوصی خود را در کستاریکا و پاناما برقرار کرده بود. در آستانهٔ جنگ جهانی اول، جغرافیای تلگراف بی‌سیم، ترجمان مناطق نفوذ سیاسی و اقتصادی قدرتهای بزرگ جهانی در آن دوران بود.

امواج پایدار و پیدایش لامپهای ترمیونی

با وجود بالا رفتن بسامد جرقه‌ها در تراز بسامدهای شنودی، فرستادن قطاری از موجهای ناپایدار، هنوز دارای معایبی بود که بدترین آنها پهنای باند عبورکننده و سر و صدای پارازیتها بودند.

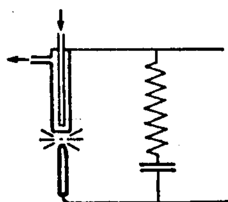


شکل ۵۱.اصول دستگاه قوس آوازی دادل (Duddell)
یک خازن و یک قرقره القا، در مدار تغذیهٔ قوس با جریان مستقیم، با اتصال موازی مونتاژ شده‌اند.

دستگاههای تلگراف بی‌سیم با پیشرفت رشته برق، تکمیل شدند و در آغاز در همین راه بود که در طی دههٔ ۱۹۱۰ کوششهایی برای تبدیل امواج ناپایدار (میرا) به امواج پایدار انجام گرفت. عمل و نظر، در واقع نشان دادند که میزان بودن، متناسب با بالاتر بودن بسامد قطارهای پی‌درپی امواج، بهتر می‌شود. همنواگری در فرستنده وگیرنده، هر قدرکه پایان یک قطار نوسانها به آغاز قطار بعدی نزدیکتر باشد، همان اندازه کمتر مستهلک می‌شود. این نظرات به‌تحقق بسامدهای موزیکال جرقه‌ها راه یافت و این اندیشه را پیش آورد که این راه‌حل زمانی عملی می‌شود که به‌جای یک رشته قطارهای موج، بتوان یک قطار امواج پیوسته، یعنی یک رشته امواج پایدار ایجاد کرد.

نخستین راه‌حلی که دخالت داده شد کاربرد مقاومت منفی قوس برقی بود که در شرایط خاصی ایجاد شود. در سال ۱۸۹۲ آقای ایلایهو تامسن نشان داده بود که قوسی که توسط جریان مستقیم ایجاد می‌شود ـ چیزی که حدود چهل سال برای روشن‌سازی معمول بود ـ چنانچه الکترودهایش با یک مدار ویژهٔ شامل یک قرقرهٔ القا و یک خازن دارای اتصال موازی باشد، می‌تواند یک نوسانگر پیوسته شود. آقای ویلیام دادل فیزیکدان انگلیسی که توانسته بود بسامد این نوسانها را افزایش دهد در سال ۱۹۰۰ موفق شد یک «قوس آوازی» یعنی قوسی را که صدای ممتدی با خصلت موزیکی ایجاد می‌کرد، پایدار نگاه دارد (شکل ۵۱). آقای آندره بلوندل نیز بنوبهٔ خود این پدیده را دو سال بعد مورد تحقیق قرار داد، اما آقای ولادمار پاولسن دانمارکی بود که در آغاز سال پس از آن، تحقیق خود را در این رشته آغاز کرد و در ۱۹۰۸ به‌نتایج قابل استفاده‌ای در ارتباطات رادیویی دست یافت. پاولسن با به‌کار گرفتن یک الکترود زغالی و یک الکترود فلزی که جریانی از آب آن را خنک کرده بود و با زدن جرقه در اتمسفری از هیدروژن یا گاز روشنایی، بسامد را به ۵۰۰۰۰۰ هرتس رسانید (شکل ۵۲).

قوس آقای پاولسن پس از توفیق در چندین آزمایش پیام رسانی، در سال ۱۹۱۱ در یک شعبهٔ



شکل ۵۲. اصول دستگاه قوس آوازی پاولسن (Poulsen)

کاتد زغالی و آند، یک لولهٔ مسی است که جریان آب آن را خنک می‌کند. این مجموعه در ظرفی دارای اتمسفر گازی گذاشته شده است.

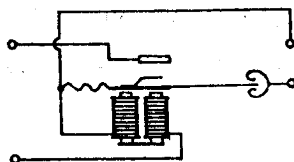
با همکاری این شرکت دانمارکی، که برای به‌کار انداختن اختراعات پاولسن تأسیس شده بود، به‌کار گرفته شد. ایستگاههای فرستنده با امواج پایدار بر پایهٔ این روش، در ممالک متحدهٔ امریکا بسرعت زیاد شدند و در زمان جنگ جهانی اول به اروپا وارد شد. در سال ۱۹۱۷ بین لیون لادوا[1] و ناحیهٔ سیویل[2] (در جنوب شرقی نیویورک) خطی برقرار شد. در ۱۹۱۸ امریکاییها در ناحیهٔ کروادین[3] در غرب شهر بوردو، یک فرستندهٔ قوسی با قدرت ۱۰۰۰ kW برپا داشتند که تا سال ۱۹۲۰ فعال شد.

در سالهای نخست پیام‌رسانی با امواج پایدار، درگیرنده از دستگاه ویژه‌ای که ticker (تیک‌تاک کن) نام داشت استفاده شد؛ این دستگاه قطع متوازن با بسامد شنودی جریان گرفته شده در مدار گوشی تلفن را ممکن می‌سازد (شکل ۵۳). این، لرزنده‌ای سریع بود که یک مغناطیس برقی که در مدار گذاشته می‌شد، لرزش آن را پایدار می‌کرد. این مدار در هر ثانیه چندین بار قطع و وصل می‌شد.

قوس پاولسن در شمار زیادی از ایستگاهها با امواج پایدار تا ۱۹۳۰ به‌کار گرفته می‌شد. قویترین این ایستگاهها با ۲۴۰۰ kW در سال ۱۹۲۳ در باندونگ (مغرب جاوه) برپا شد؛ اما این سیستم، معایب بزرگی داشت: تولید هارمونیکها، همهمهٔ داخلی، دشواری کلید زنی، نگاهداری دقیق. بعدها، این وضع نیز، مانند روشهای مخابره با جرقه، ممنوع اعلام شد.

آقای مارکونی مدت چند سال برای تولید موجهای نیمه پایدار کوشید، و برای این کار چندین دستگاه جرقه‌زن را به‌کار گرفت که مدار نوساندار را پیاپی چنان تحریک می‌کردند که نوسانها پیش از آنکه قبلیها کاملاً بمیرند، ایجاد شوند. این دستگاه فرستنده که در سال ۱۹۱۳ با نام timed

1. Lyon-la-Doua 2. Sayville 3. Croix-d'Hins



شکل ۵۳.اصول دستگاه تیک تاک کن.
سمت چپ: سرهای تغذیهٔ مغناطیسهای برقی که لرزش را پایدار می‌سازند. سمت راست: سرهای مداری که دستگاه تیک تاک کن در آن قرار دارد.

spark discharger مشهور بود، چهار مدار نوسانی و چهار جرقه‌زن گردان داشت که به یکدیگر اتصال داشتند. این دستگاه تنها برای فرستنده‌های قوی دارای طول موجهای بلند مناسب بود و تا آغاز سالهای ۲۰ در ارتباطات ترا اطلسی به‌طور مؤثری کار می‌کرد.

ترکیبات دیگری نیز برای بالابردن بسامدها اندیشیده شد، مانند طرح موریس ژولی[1] در ۱۹۲۱. این «دو برابر کنندهٔ بسامد» شامل دو ترانسفورماتور بود که هر یک سه سیم‌پیچ داشتند. این دستگاه با تناوبگری کار می‌کرد که ورودیهای هر دو ترانسفورماتور را که با اتصال زنجیری به‌یکدیگر مربوط می‌شدند، تغذیه می‌کرد. تأثیر این کار در خروجیها که در مدار آنتن قرار داشتند به فرمان سیم‌پیچهای سوم انجام می‌گرفت که پیوسته تغذیه می‌شدند. در واقع با چند برابر کردن ترکیبات مونتاژ، تنها توانستند از پدیده‌های القا و نوسان اطلاعات خوبی به‌دست آورند. اما گرچه چند اصلاحی به‌عمل آمد، همهٔ این سیستمها با مانعی برخورد کردند که عبور ناپذیر می‌نمود.

ازاین روشهای گوناگون برای تولید امواج پایدار با برق، که کاربرد آنها در جریان جنگ جهانی اول شروع شد، مآلاً استفاده از تناوبگرهای با بسامد زیاد بود که بهترین نتیجه را داشت.

دیده شد که تناوبگرهای با بسامد صنعتی، پنجاه هرتس، توسط برقکاران رادیو به‌کار گرفته می‌شدند. تسلاکه، همان‌طورکه در بخشی از مجلد چهارم گفته شد، سهم چشمگیری در سالهای ۹۰ در پیشرفت مولدهای جریانهای متناوب و مولدهای القایی داشته است، در سال ۱۸۹۹ با تناوبگر ۳۳۰۰۰ هرتسی برای پیام‌رسانی به آزمایشهایی دست زد. پس از او آقای فسندن در سال ۱۹۰۳ این مسأله را باز پیش کشید و در ۱۹۰۷ با تناوبگری با قدرت کمتر اما با بسامد ۸۰۰۰۰ هرتس، نخستین آزمایشهای تلفن بی‌سیم را انجام داد. در امریکا، آقای ارنست الگزاندرسن[2] نیز به سال ۱۹۰۸ از یک مولد القایی چند قطبی دارای بسامد ۱۰۰۰۰۰ هرتس استفاده کرد. از

1. Maurice Joly 2. E.Alexanderson

تناوبگر الگزاندرسن تا حدود سال ۱۹۱۸ استفاده نشد. در آلمان آقای رودلف گلدشمیت[1] کمی بعد، یک تناوبگر چند قطبی، ۳۸۴ قطب، طرح کرد. سرعت گردش روتور آن بسیار کمتر از تناوبگر قبلی بود درحالی‌که بسامد نخستین آن به‌سبب وجود یک وسیلهٔ «بازتاب» جریانهای متناوب بین روتور و استاتور زیادشده بود. روش وی به‌علت دشواریهای زیاد ساخت، تا ۱۹۱۵ به‌کارگرفته نشد.

در این دوران شرکت تلفونکن، دستگاه موریس ژولی را که از یک تناوبگر ۵۰۰۰ هرتسی تغذیه می‌شد به‌خدمت گرفت. آلمان بدین‌ترتیب در سالهای ۱۹۱۴ـ۱۹۱۷ با امریکا ارتباط داشت.

فراوانی راه‌حلها، از آن جمله قوس پاولسن، که لااقل به‌مدت ده سال از طرحهای ساده به انواع صنعتی آن ترقی کرد، بخوبی بر بی‌سامان بودن پیشرفت تحقیقات فنی این رشته، گواهی دارد. در واقع هیچ اصل نوینی بنیانگذاری نشد اما وسایل بسیار پیشرفته‌ای، مانند تناوبگرهای چندقطبی با بسامد زیاد ساخته شدند که بسیار ارزشمند بودند. نزدیکی و آغاز مخاصمات پر تصمیماتی که در این دوره اتخاذ شد، تأثیر زیادی داشته است.

در زمینهٔ استفاده از تناوبگرها باید گفت که آخرین اصلاحات را آقای ژوزف بتنو[2] مهندس فرانسوی وارد کرد. وی که با ماریوس لاتور[3] در SFR کار می‌کرد ساخت روتوری با دو ردیف قطب را بررسی می‌کرد که باید در محوطه خلأ شده‌ای آن را گرداند و جریانی از روغن تحت فشار آن را خنک سازد. این دستگاهها را شرکت آلزاسی ماشین‌سازی در بلفور (شرق پاریس) ساخت. همهٔ این کارها در سال ۱۹۱۳ شروع شد که با دشواریهای فراوان روبه‌رو شدند. این دشواریها از نوع مکانیکی برای تأمین دقیق سرعتهای بالای روتور در چاک بسیار کوچک بود. پس از اینکه در سال ۱۹۱۵ نخستین تناوبگر ۵ kW و بسامد ۲۴۰۰۰ هرتس در ناحیهٔ لیون لادوا به‌خدمت گرفته شد دستگاه توانمندتری با ۱۲۵ kW برای همین ایستگاه ساخته شد و در پایان ۱۹۱۸ به‌کار افتاد. این ایستگاه با طول موج ۱۵۰۰۰ متر با نظم کامل کار می‌کرد. مهندسان همین شرکت باز هم چندین دستگاه را طرح کردند و آنها را ساختند: پیوست کردن موازی تناوبگرها برای افزایش قدرت پیام‌رسانی به‌تناسب نیاز ترافیک، پیام‌رسانی مولتی پلکس روی یک شبکه آنتنها، فزونسازهای استاتیکی بسامد. ساخت ورقهای مدارهای دستگاههای اخیر، مستلزم تحقیق فراوان دربارهٔ آلیاژهایی بود که دستیابی به بازده‌های ۹۰٪ قدرت را ممکن سازند.

در طی ده سال حدود پنجاه نوع تناوبگر بتنوـ لاتور ساخته شدند که اکثر آنها بین ۲۵ تا kW ۵۰۰ قدرت داشتند و تعدادی از آنها چندین دهه فعال ماندند. در سایهٔ چنین تلاشهای صنعتی و کارهای ارتشی تلگراف بی‌سیم، به سرپرستی گوستاو فریه که بعداً دربارهٔ آنها سخن خواهیم گفت،

1. Rudolf Goldschmidt 2. J.Bethenod 3. M.Latour

فرانسه در اواخر جنگ جهانی اول و سالهای پس از آن، مقام بسیار برجسته‌ای را در این رشته اشغال کرده بود.

این دستاوردها در ایستگاه بزرگ سنت آسیز[1] در حوالی ملون که در ۱۹۲۲ کاملاً به‌کار افتاد، تجسم یافتند. این تأسیسات چهار تناوبگر ۲۵ kW برای ترافیک اروپا، دو تناوبگر ۲۵۰ و دو تناوبگر ۵۰۰ kW برای ترافیک ترا اقیانوسی داشت. این بنیاد با ۱۵۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ متر برای ترا اقیانوسی با دو آنتن بشقابی به طول چهار کیلومتر که بر دکلهایی با ارتفاع ۲۵۰ متر نصب شده بودند، کار می‌کرد.

در ماه مارس ۱۹۲۱ ایستگاه سنت آسیز، یک فرستندهٔ لامپی، که دومین نمونه از این نوع در فرانسه بود، دریافت داشت. بدین‌ترتیب، مرحلهٔ دیگری از تکنیکهای بی‌سیم گشایش یافت ـ یک راه اصیل باز شد که پیشرفت آن تا مرحلهٔ کنونی ادامه یافته است.

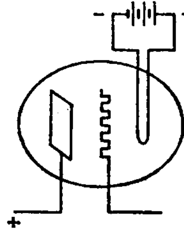
با وجود تکمیلهای روشهای گوناگون جهت گسیل «امواج پایدار ناب»، یعنی دارای دامنهٔ ثابت، وسایل برقی رادیو الکتریسیته نتوانست یک مانع ضرور در ساختن تلفن بی‌سیم را پشت سر گذارد. در واقع باید می‌توانستند این دامنه را به‌طور متناسبی تحمیل کنند. پس از اندک مدتی کوشیدند تا با وارد کردن میکروفونهای بسیار قوی با اتصال موازی در مدار آنتن یک فرستندهٔ قوسی به این تحمیل دست یابند ـ و این نظیر کارهایی بود که آقایان ویکتور کولن[2] و موریس ژانس[3] در ۱۹۰۸ و آقای وانی[4] ایتالیایی در ۱۹۱۲ بدان دست زدند.

در ممالک متحدهٔ امریکا آقای الگزاندرسن در ۱۹۱۴ کوشید تا با تأثیر روی مدارهای چند برابر کننده‌های مغناطیسی بدین نتیجه برسد. اما همهٔ این راه‌حلها به‌علت اینکه این دستگاهها دربرابر مدارهای جریان قوی آسیب‌پذیر بودند نتایج رضایتبخشی نداشتند، و راه‌حل عملی با به‌کار گرفتن لامپهای الکترونی در حدود سال ۱۹۱۶ به‌دست آمد.

ایجاد نوسان با لامپ الکترونی با دستکاری فزونسازها (آمپلی‌فایر) عملی شد. در هر فزونساز، حتی ناالکترونیک آن، چنانچه در مدار ورودی، بخشی از جریان خروجی را که از لحاظ فاز، تنظیم شده است باز فرستند، مقدار فزونسازی، با این واکنش، زیاد خواهد شد. چنانچه از مرزی از واکنش ـ که به فزونسازی بی‌پایان می‌رسد ـ فراتر روند، رفتار این پدیده تغییر می‌کند و نوسانهایی شروع می‌شود که حتی اگر در ورودی دستگاه، دیگر علامت خارجی هم نباشد، باز هم ادامه خواهد یافت.

این نوع نوسانگر سبب شد که تکنیکهای تولید امواج پایدار، دگرگون شوند. این پیشرفت بر اثر

1. Sainte-Assise 2. V.Colin 3. M.Jeance 4. Vanni



شکل ۵۵.نمایهٔ تریودلی د فارست.

آقای د فارست با افزودن الکترود سومی به دیود، تریود را اختراع کرد.

در سال ۱۹۰۶ وی در دو سوی افروزه، دو صفحه قرار داد، و در سال بعد صفحهٔ دوم را با شبکه‌ای تعویض کرد که آن را میان صفحه و افروزه گذاشت. (شکل ۵۵). این «شبکه» که جریان سیلی از الکترون را اجازه می‌داد می‌توانست نقشهای گوناگون داشته باشد. نام شبکه هم مانند نام صفحه که زمانی‌که استوانه‌ای شد، باز آن را صفحه می‌گفتند، پایدار ماند.

این شبکه را وارد مدار ویژه‌ای کردند و ولتاژ آن را در حدود ولتاژ افروزه نگاه داشتند. با تغییر دادن ولتاژ شبکه توانستند بر جریان افروزه ـ صفحه تأثیر بگذارند و شدت جریان برق را کم و زیاد کنند. آقای لی د فارست این لامپ نوع جدید را audion (اودیون) نامید و نخست از آن، به‌عنوان آشکارسازی که از آشکارساز فلمینگ کمی پیشرفته‌تر بود استفاده کرد. اما کشف بزرگ وی این بود که نشان داد که چنین دستگاهی می‌تواند نقش فزونسازی داشته باشد، بدین معنی که تغییر ناچیز ولتاژ شبکه، تغییر مهم و متناسبی در شدت جریان آندی پدید می‌آورد. مقدار انرژی برای جریان یافتن این مدار را یک منبع خارجی تأمین می‌کرد و در این مورد، یک باتری، ولتاژ آند را تا سطح لازم بالا می‌برد. این امکان پدید آوردن یک شدت جریان مهم، بدون اینکه از آن برای علامتهای دریافت برداشت کنیم، پیشرفت شگفت‌انگیز الکترونیک را ممکن ساخت. امکان ایجاد چندین «طبقه» فزونسازی گام‌به‌گام و فراهم کردن شدتهای مهم، بر پایهٔ علایم ناچیز مقدور شد. از مدتها پیش با کار رله‌های الکترومکانیکی آشنا بودند و از آنها به تعداد زیاد در رشته الکتروتکنیک برای فرمان دادن، با جریان ضعیف، به دستگاههای قوی و مکانیسمهای گوناگون استفاده می‌شد. اما این وسایل که با فنر تکرارکننده عمل می‌کردند کمی ماند (اینرسی) داشتند. فزونسازهای الکترونی به‌طور روزافزونی منظمتر و با بسامدهای بالاتری به‌کار گرفته شدند.

با این حال، تریود مدت چند سال صرفاً یک وسیلهٔ آزمایشگاهی و بدون کاربرد صنعتی باقی

ماند. حدود سال ۱۹۱۰ آقای ایروینگ لنگمیور، ضمن کارهای خود دربارهٔ لامپهای روشنایی در اتمسفر گازی، بررسی آن را از نو شروع کرد. وی این وسیله را تکمیل کرد و نشان داد که کار آن، زمانی‌که خلأ «کامل» در لامپ ایجاد شده باشد بهتر خواهد شد. کمی بعد، شرکتهای تلفن امریکا نیز بنوبهٔ خود از تریود در نقشهای فزونساز، یکسوی کننده و رلهٔ خطوط برای ارتباط با فواصل دور استفاده کردند. تریود در سال ۱۹۱۵ در تلفن به‌طور مؤثری به‌کار گرفته شد و کمی پس از آن، استفاده از آن در تلگراف بی‌سیم شروع شد.

در سال ۱۹۱۳ امکانات فزونسازی تریود برای ایجاد فزونسازی گام‌به‌گام در پستهای گیرنده از راه پیوست دادن لامپها آشکار شد. بررسی مدارهای صفحه، شبکه و افروزه همچنین این امکان را به‌وجود آورد که از این لامپها نوسانگرهایی برای فرستنده و گیرنده بسازند. گرچه همهٔ این اصول، زمانی‌که آنها را به‌طور اجمالی بیان می‌کنیم نسبتاً ساده می‌نمایند، کاربرد آنها در همهٔ وظایفی که از تریود انتظار می‌رود، بسیار ظریف و دشوار است. فیزیکدانان و تکنسین‌ها، رشتهٔ الکتریسیته کلاسیک را، که پنجاه سال پیش با موشکافی و وسواس کشف شده بود، برای بررسی کامل خواص و پدیده‌هایی که هنوز نتوانسته بودند آنها را تحلیل کنند رها کردند. این عصر الکترونیک بود که حدود پنجاه سال پیش از اینکه این اصطلاح در زبان علمی وارد شود شروع شده بود.

شمار زیادی از فیزیکدانان در تشکیل این رشته شرکت داشته‌اند که بویژه علاوه‌بر آقای لنگمیور باید از: هرالد. آرنلد، ادوین آرمسترانگ و فریتس لوونشتاین[1] در امریکا؛ آقایان: مایسنر[2] و فون لیبن[3] در آلمان؛ زیگموند اشتراوس در اتریش و... نام برد. قدمت دیود فلمینگ و رقابتهای صنعتی شرکتهای مختلفی که تعدادی محقق در خدمت خود داشتند و سودآوری تریود، کلاف سردرگمی از محاکمات را در این سالها موجب شد. نخست، فلمینگ با فارست به مقابله برخاست، سپس شرکتهای وسترن یونیون و جنرال الکتریک علیه یکدیگر اقامه دعوی کردند.

این وضع با اعتراضات فون لیبن که لامپهای پیشرفته‌ای ساخته بود، نسبت به مایسنر، که در ۱۹۱۳ تأثیر واکنش و تولید نوسانها را کشف کرده بود، آشفته‌تر شد. اختراعات ثبت شدهٔ مایسنر را باید به‌عنوان غنایم جنگی متفقین در سال ۱۹۱۸ تلقی کرد. اما مجموعهٔ این دعاوی و اساساً ادعاهای مربوط به اصالت تریود دربرابر دیود تا سال ۱۹۳۴ به درازا کشید. حتی زمانی‌که دو شرکت معارض یکدیگر: امریکن تلگراف و تلفن از یکسوی و شرکت مارکونی از سوی دیگر، به‌علت اینکه اولی تریودهای ساخت خود را به شکل جانشین دیود فلمینگ تحویل می‌داد و دومی آن را به‌صورت علی‌البدل لامپ لی د فارست، هر دو از ساخت تریود ممنوع شدند، دعاوی آنها علیه

1. Fritz Lövenstein 2. A.Meissner 3. Von Lieben

یکدیگر پایان نیافت. حقوق فارست، سرانجام به‌رسمیت شناخته شد. از دعاوی دیگر مربوط به تقدم، یکی هم در مورد سوپر هترودین بود که در همان زمان بین لوسین لوی[1] نخستین سازندهٔ آن برای رادیوی سوپر هترودینی ارتشی در ۱۹۱۷ و ادوین آرمسترانگ درگرفت. آرمسترانگ به‌عنوان کارشناس امریکایی ارتباطات رادیویی در همین دوران در همین سازمان فرانسوی کار می‌کرد، اما تقاضای ثبت اختراع این وسیله از سوی وی پس از تقاضای همکارش تسلیم شده بود و بنابراین به تقدم آقای لوسین لوی رأی داده شد.

مراحل اساسی لامپهای خلأ

جنگ جهانی اول، تکنیکهای ارتباطات رادیویی را با جهش بزرگی به پیش راند. رشته‌های دیگر فنی و احتمالاً تقریباً همه رشته‌های مربوط به تولید صنعتی آنها نیز، در طی این چهار سال جنگ تکان شدیدی خوردند، اما شمار زیادی از آنها، حتی آنهایی که تازه ایجاد شده بودند مانند اتومبیل و هواپیما، که از لحاظ تلاش در تولید زیادتر و تکمیل وسایل موجود، جالب توجه بودند، پیشرفت تکنیکی بنیانی نداشتند. رشته‌های دیگری، برعکس، مثلاً صنایع شیمیایی، بر اثر روشهایی نظیر تثبیت نیتروژن جو، که در سال ۱۹۱۴ تازه روبه‌راه شده بود به شکوفایی دست یافتند. ارتباطات رادیویی نیز چنین بود.

لامپهای الکترونی در آستانه جنگ بتازگی به‌کار گرفته شده بودند. امکانات کاربرد آنها از سال ۱۹۱۵ بشدت مورد بررسی قرار گرفت و در آغاز سالهای ۲۰ به‌کاربرد عمومی و تغییر شکل سریع تکنیکهای رادیو، انجامید.

با اینکه در شیمی صنعتی، آلمانیها ابتکار را در دست داشتند، در رشتهٔ تلگراف نظامی، سرویسهای فرانسوی در پهنهٔ ارتباطات رادیویی و بویژه تولید صنعتی لامپهای خلأ مبتکر بودند.

کمی پیش از این از کاپیتن گوستاو فریه نام بردیم. باید خاطرنشان ساخت که وی که در راس رشتهٔ تلگراف نظامی فرانسه قرار داشت گروهی از فیزیکدانان بسیار درخشان را به دور خود گرد آورد که در این راه چهار سال تمام تلاش کردند و همگی آنان را باید از بهترین چهره‌های علم و تکنیک در فرانسه به‌حساب آورد و برخی از آنها از بهترین چهره‌های جهانی در دهه‌های پس از سالهای ۲۰ بودند.

آثار جنگ: گروه فریه بزودی از پیشرفتهای اودیون (تریود) در امریکا آگاه شد و از همان ماههای نخستین جنگ، آقای هانری آبراهام مدیر راه‌اندازی تولید صنعتی آن شد و در پایان سال ۱۹۱۴ آن را

1. Lucien Lévy

به‌کار گرفت. فیزیکدانان دیگری، از آن‌جمله آقایان: کامی گوتون[1]، ریمون ژوو[2]، لوسین لوی به تحقیق دربارهٔ وسایل مونتاژ جهت استفاده از همهٔ خواص تریود: آشکارسازی، فزونسازی و موج‌سازی پرداختند. در سال ۱۹۱۵ آنان توانستند فزونسازهایی با بسامد پایین و سپس فزونسازهایی با بسامد بالا بسازند.

انواع فراوان لامپها برای تشکیل پستهای گیرنده ساخته شدند که مناسب مدلهای معین همهٔ تقسیمات ارتشی بودند. در جریان این کارهای نخستین است که لامپ معروف TM (تلگراف جنگی)، که در سالهای جنگ صدها هزار از آن به‌کار گرفته شدند، ساخته شد. در سال ۱۹۱۸ مقدار تولید سالانه کارخانه‌های فرانسوی به ۳۰۰۰۰۰ لامپ بالغ شد. لامپ TM برای نخستین بار از الکترودهای به‌شکل استوانه‌های هم‌مرکز ساخته شد. در ۱۹۱۷ ساخت فرستنده‌هایی با این لامپها، سپس دستگاههای فرستنده ـ گیرندهٔ قابل حمل آغاز شد. انواع گوناگونی از پستهای تنظیم‌کننده برای پاسخگویی به نیازهای مختلف نیروهای زمینی، دریایی و هوایی پشت سر هم طرحریزی شدند. روشهای قدیمی گسیل توسط جرقه‌ها کاملاً کنار گذاشته نشدند؛ مثلاً نخستین پستهای فرستنده هواپیماها از نوع جرقه‌ای بودند؛ اما فرستنده‌هایی از نوع لامپهای موجساز در جریان دو سال اول جنگ جهانی اول، اهمیت روزافزون داشتند.

وسایل ارتباطات رادیویی نظامی فرانسه دربرابر وسایل ارتباطی بریتانیا و آلمان از برتری بسیار بالایی برخوردار بود، و غالباً به نیروهای متفقین امکان می‌داد نسبت به دشمن، برتری تاکتیکی داشته باشند. زمانی‌که در ۱۹۱۷ ارتش امریکا در اروپا پیاده شد، قسمت ارتباطات رادیویی آن، وسایل فرانسوی را برگزید.

دربارهٔ پیشرفتهای ارتباطات رادیویی در انگلستان و آلمان، باید گفت که بی‌ثمر نبودند اما از این لامپها در آنها زیاد استفاده نمی‌شد. وسایل آلمانی تا پایان جنگ از فرستنده‌های با امواج میرا (ناپایدار) استفاده می‌کردند.

دوران جنگ علاوه‌بر پیشرفتهای جالب توجه فنی که در صنعت پدید آورد در پیشرفت عمومی ارتباطات رادیویی نیز دو پیامد چشمگیر داشت. نخست موجب پرورش سریع تکنسین‌ها از هر رتبه در همهٔ کشورها شد و این امر سبب شد که کارگرهای آزموده‌ای برای صنعتی که وارد یک مرحلهٔ شتابان پیشرفت می‌شد پرورش یابند. صنعت مکانیک و بویژه صنعت موتورهای درونسوز اتومبیل و هواپیما هم از این امر بهره‌مند شدند. اما پیامد دوم بیشتر به رشته‌های ارتباطات رادیویی مربوط می‌شد، و آن ارتباط مستقیم و همکاری تکنسین‌های رادیویی آنگلوساکسونها و فرانسویها با

1. Camille Gutton 2. R.Jouaust

یکدیگر بود. از جمله تکنسین‌های آنگلوساکسونها بویژه باید از آرمسترانگ (ادوین هوارد) نام برد که در ۲۲ سالگی ـ وی در ۱۸۹۰ تولد یافته بود ـ روی خواص فزونسازی اودیون راکسیونی کارهای جالبی کرده بود و کمی پس از آن روی خواص نوسانگری آن.

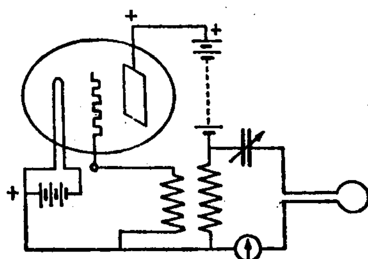
آقای آرمسترانگ در فرانسه بویژه روی وسیله‌ای کارکرد که امکان می‌داد در پست گیرنده، بسامد بالای حدود میلیون هرتسی، مربوط به امواج ایجاد شدهٔ توسط جرقه‌های موتورهای هواپیماهای آلمان پایین آورده شوند تا توسط گیرنده‌های لامپی آشکار گردند. همان‌طورکه گفته‌ایم ـ و بعداً هم به‌آن باز خواهیم پرداخت ـ این همان زمانی بود که لوسین لوی، یکی از نخستین سازندگان سیستم سوپر هترودینی کار خود را انجام می‌داد. این همکاری نظامی بسیار فعال، با امکان مبادلهٔ گستردهٔ اطلاعات علمی و فنی که فراهم ساخت، برای پخش رادیویی که تازه ایجاد شده بود بسیار سودمند افتاد.

نوسانگرها و هترودین: از جمله خواص تریود که پیش از اینکه دوران تحقیقات نفسگیر زمان جنگ آغاز شود کشف شده بود این امکان بود که با جفت کردن یک مدار همنوا هم با مدار شبکهٔ فرمان و هم با مدار صفحهٔ آند، همان‌طورکه می‌دانیم، امواج پایداری برای فرستنده ایجاد می‌شود. این کشف لااقل همان اهمیت کشف خود فزونسازی را داشت. بدین‌ترتیب، امکان تحمیل امواج برای گشایش واقعی راه تلفن بی‌سیم فراهم آمد. در آغاز، تحمیل دامنه‌ای با روشهای گوناگون بود. روش آقای ر. ا. هایزینگ[1] امریکایی در ۱۹۱۵ برای فرستنده‌های هواپیما به‌کار برده شد. تحمیل بسامدی را در ۱۹۳۳ آقای آرمسترانگ مطرح ساخت که به‌علت مخالفتهای صنعتگرانی که از رادیو استفاده می‌کردند تا مدتها به‌کار گرفته نشد.

با داشتن نوسانگرهای کوچکی که آسان تنظیم می‌شوند می‌توان آن را در دریافت امواج کاملاً پایدار روش هترودین به‌کار گرفت، که یک راه‌حل عملی و واقعی این سیستم بود (شکل ۵۶). اصطلاح هترودین در سال ۱۹۱۵ ساخته شد و این واقعیت را می‌رساند که علاوه‌بر قدرت الکترو مغناطیسی با بسامد بالا که از فرستنده می‌آید، دستگاه گیرنده نیز به نوبهٔ خود قدرت دیگری، با بسامد کمی متفاوت ایجاد می‌کند. آقای فسندن در ۱۹۰۲ اصول طرزکار هترودین را مطرح ساخت اما زمانی از آن استفاده شد که لامپ تریود مورد استفادهٔ نوسانگر در دسترس بود.

آشکارسازی ساده یک موج پایدار ناب، بر اثر یکسوی شوندگی، جریان مستقیمی می‌دهد که قادر به فعال کردن گوشی تلفن، که در آن زمان با امواج میراکار می‌کرد، نیست. در آغاز همان‌طورکه دیده‌ایم با تقسیم کردن جریان دریافت شده به بسامدهای شنودی کار را شروع کردند. این وسیله

1. R.A.Heising



شکل ۵۶.سیستم مونتاژ هترودینی (حدود ۱۹۱۸).
در هر یک از مدارهای شبکه و صفحهٔ آند، یک قرقرهٔ القا وارد کرده‌اند. قرقرهٔ دوم القا در یک مدار موجساز دارای یک خازن، شرکت دارد. چنان‌چه هر دو قرقره با یکدیگر کوپل شده باشند، نوسانهای مدار دوم پایدار خواهند بود. زمانی‌که نوسانها درگیر می‌شوند، حلقهٔ کاشف سمت راست مدار گیرنده را نزدیک می‌آورد و خازن را تنظیم می‌کند.

حساسیت کافی را نداشت و ضمن دشوار بودن کار با آن، برای همهٔ علامتهای دریافتی یک نت را می‌داد که تشخیص علامتها از یکدیگر را دشوار می‌کرد. روش هترودینی که با بسامدی نزدیک به بسامد علامت دریافتی تنظیم می‌شد، ضربه‌هایی ایجاد می‌کرد که گوشی تلفن آنها را تبدیل به اصوات می‌کرد. ارتفاعهای این اصوات قابل تنظیم، و برای دو علامت مجاور اما با بسامدهای مختلف، متفاوت بودند. در این‌صورت، گوش می‌تواند علامت مطلوب را برگزیند. بدین‌ترتیب، توانستند با کاهش قابل توجه همهمه، ارتباطات رادیویی بی‌سیم را بسرعت گسترش دهند.

نوعی از هترودین می‌توانست نحوهٔ کار گیرنده را بهبود بخشد. اگر بسامد نوسانگر کمکی طوری تنظیم شود تا ضربه‌هایی نه با بسامدهای شنودی، که با بسامدهای نسبتاً بالاتر تولید کند می‌توان این بسامد جدید، به‌اصطلاح واسطه‌ای، را مثل یک علامت معمولی در بخش تکمیلی گیرنده، مناسب کرد. مزیت این روش همانا امکان ایجاد بسامد واسطه‌ای ثابت در یک محدوده است که اجازه می‌دهد بخش دوم از پیش تنظیم شده گیرنده را روی یک بسامد یک‌نواخت ـ بسامد علامت نخستین هرچه باشد ـ نگاه داریم. بدین‌ترتیب، توانستند مدارهایی با چنین پیچیدگی ناگزیر، اما ثابت را مورد استفاده قرار دهند. وانگهی از ناراحتیهای گوناگون ناشی از تنظیم طبقات متعدد فزونسازها روی یک بسامد، جلوگیری می‌شد. این روش سوپرهترودینی را آقای مایسنر در ۱۹۱۳ طرح کرده بود و آقای لوسین لوی در ۱۹۱۷ در فرانسه و ادوین آرمسترانگ امریکایی بعد از او در همین سال، نخست برای افزایش قدرت گزینندگی دستگاههای گیرنده، آن را عملی ساخته بودند.

این روش عملاً در حدود ۱۹۲۴ به‌کار گرفته شد و سپس بسرعت به‌شکلی تقریباً رواج کلی یافت و اکنون همهٔ فرستنده‌ها از آن استفاده می‌کنند.

تغذیه و مونتاژ لامپهای الکترونی: لامپهای الکترونی مدت چهل سال، سلطان رادیو الکتریسیته بودند و گسترشهای فوق انتظاری را، حتی در بیرون از رشتهٔ ارتباطات رادیویی ممکن ساختند. این آغاز سلطنت الکترونیک است که اینک به همهٔ رشته‌های فنی نفوذ کرده است. در حال حاضر، این لامپها هنوز در موارد گوناگونی بدون جانشین هستند.

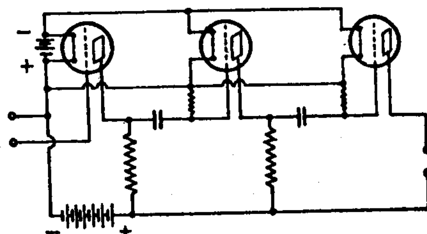
اما لزوم گرم شدن افروزهٔ تنگستنی، یا به‌طورکلی باید گفت، کاتد که الکترونها را تهیه می‌کند، دردسرهای بسیار بدی ایجاد می‌کند. در آغاز، تغذیهٔ چنین افروزه‌هایی مستلزم کاربرد آکومولاتورهای سنگین و فضاگیر بود و نیز عمر بسیار کوتاهی داشتند.

کاراندازی کاتدها در دمای پایین و با مصرف کم تنگستن توریم‌دار یا با اکسیدهای فلزی، وضع را بهتر کرد. همچنین ساخت کاتدهای جدا از افروزهٔ گرم کننده، امکان تغذیهٔ افروزه با جریان متناوب شبکه را فراهم ساخت و بدین‌ترتیب، تغییرات نوسانی گسیل الکترون که در مدارهای کاربردی ایجاد همهمه می‌کرد، از میان رفت.

از همان آغاز کاربرد، لامپهای الکترونی، برای دستیابی به بهترین نتایج و قبل از همه در کار فزونسازی مدلهای متعددی از مونتاژ مطرح شدند. بزودی توانستند چندین طبقه فزونسازی، هرکدام دارای یک لامپ را به‌طورگام‌به‌گام تشکیل دهند. تغییر ولتاژ اعمال شده بین شبکهٔ لامپ، الکترود ورودی و کاتد سبب تغییر جریان در مداری می‌شود که آند را به کاتد وصل می‌کند. برای اینکه بتوان آن را به شبکهٔ بعدی اعمال کرد باید این تغییر جریان را به تغییر ولتاژ تبدیل کرد.

راه‌حلهای متعددی پیشنهاد شدند. از ترانسفورماتوری استفاده شد که مشخصات آن با بسامد علامتها تطبیق داشتند و در صورت لزوم، مدارها و همچنین امپدانس (ناگذرایی یا مقاومت مرکب) مدارها تطبیق داده می‌شدند. اما در روش دیگری که در سال ۱۹۱۶ توسط آقایان ل. بریوون[1] و بووه اجرا گردید از اختلاف پتانسیل پدید آمده در اثر جریان آندی در یک مقاومت، برای اعمال آن در شبکهٔ بعدی استفاده شد (شکل ۵۷). این روش فزونسازی با مقاومتها دارای امتیاز سهولت زیاد بود اما نمی‌توانست در بسامدهای خیلی بالا کارایی داشته باشد. با این همه، با تعویض مقاومت با یک امپدانس بالا برای بسامد علامت، توانستند در هر بسامدی به‌نتیجه برسند. چنانچه امپدانس مربوط به یک مدار بازآوا (همنوا) معادل یک اتوترانسفورماتور منطبق با بسامد به‌کار گرفته شده باشد، نوعی فزونساز گزیننده خواهیم داشت. بعدها توانستند با به‌کار بردن مدارهای مفصلتری در

1. L.Brillouin



شکل ۵۷.اصول فزونسازی با مقاومت (سالهای ۱۹۲۰).
مدارهای صفحهٔ آند لامپهای تریود، شامل مقاومتهایی هستند که لبه‌های آنها سبب تغییر ولتاژی می‌شود که شبکهٔ فرمان، آن را تقویت می‌کند. مدارهای شبکهٔ فرمان خازنی دارند که جریان متناوب را، برای افزون شدن عبور می‌دهد، اما جریان مستقیم را متوقف می‌سازد و نیز دارای مقاومتی است بین شبکهٔ فرمان و افروزه که بارهای برقی شبکه را جریان می‌دهد.

نقش صافیها و دارای مشخصات پیشرفته‌تر، یعنی با پهنای کوچکتر یا بزرگتر باند بسامدهای افزون شده یاردی، به‌عنوان مدارهای اتصال دهندهٔ طبقات، این وسایل را تکمیل کنند.

در آغاز فزونسازها، افروزه‌های لامپها را یک باتری مشترک تغذیه می‌کرد، اما هر طبقهٔ فزونسازی دارای باتری آندی مربوط به خود بود و بدین‌ترتیب، پیچیدگی بزرگی ایجاد می‌شد. آقای ماریوس لاتور در ۱۹۱۶ اظهار داشت که چنانچه منبع ولتاژ آندی یک مقاومت داخلی یا یک امپدانس داخلی داشته باشد ـ چیزی که بعدها امکان به‌کارگیری یکسوی کننده‌های تغذیه با جریان متناوب به مقدار ناچیز را فراهم ساخت ـ می‌تواند برای همهٔ طبقات، مشترک باشد و خطر چسبیدن مدارهای مزاحم متعدد آندی هم پیش نخواهد آمد.

تحول در ساختار: برای ساده کردن کار لامپهای الکترونی اصلاحات متعددی در آن انجام گرفت. مصرف زیاد افروزه، ۲/۵ وات در لامپهای TM یک نقص جدی بود، زیرا برای تغذیهٔ آن می‌بایست از آکومولاتور استفاده کرد. کاربرد تنگستن توریم‌دار (ابتکار لنگمیور) در سال ۱۹۲۵، سپس مصرف اکسیدها سبب شد که مقدار مصرف ۱۰ تا ۲۰٪ کاهش یابد. سپس برای استفاده از آنها در پستهای ثابت، مناسبتر دیده شد که دستگاهها را مستقیماً با جریان متناوب شبکه تغذیه کنند. گرچه با یکسوی کردن جریان متناوب با دیودها، بعدها با نیمرساناها، و تصفیهٔ آن، به‌دست آوردن ولتاژ آندی آسان است، برای کاتد چنین نیست.

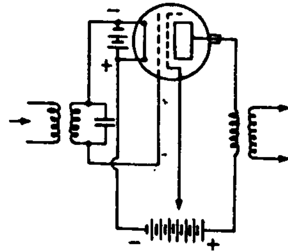
پس ازکارهای متعدد، از لامپهایی استفاده شد که عمل گرم کردن کاتد گود، و گسیل الکترونها

جدا از یکدیگر و بدون ارتباط الکتریکی انجام می‌گرفت. در واقع، چنانچه یک افروزه مستقیماً با جریان متناوب تغذیه می‌شد، اختلاف پتانسیل افروزه و شبکه، تحمیل می‌گردید و در مدار آندی ایجاد سر و صدا می‌شد.

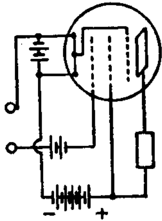
در مجموعهٔ الکترودهای لامپ اصلاحات مهمی به‌عمل آمد. نخست، همهٔ این لامپها از نوع تریود بودند (کاتد ـ شبکه ـ آند). برای بهتر کردن مشخصات لامپها، اندیشیدند که شمار الکترودها را بیفزایند. نخستین ساخت از آن شوتکی[1] در سال ۱۹۱۶ بود که یک شبکهٔ اضافی، مثبت، بین کاتد و شبکهٔ فرمان وارد کرد. این الکترود سبب می‌شد که الکترونهای تولید شده توسط کاتد شتاب گیرند و بدین‌ترتیب، توانستند ولتاژ آندی را کاهش دهند. بعداً اظهار داشتند که پتانسیل بین شبکه فرمان و آند، تولید نوعی چسبندگی پارازیتی بین مدارها می‌کند. با وجود یک شبکهٔ اضافی، دارای ولتاژ مثبت واسطه‌ای، بین شبکهٔ فرمان و آند، این شبکه تشکیل یک پردهٔ الکتروستاتیکی بین هر دو مدار می‌دهد (شکل ۵۸). از سوی دیگر، این ترود، ضریب فزونسازی بالا رونده‌ای داشت. اما حضور این الکترود مثبت در مجاورت صفحه، خروج الکترونهای ثانوی یعنی الکترودهایی را تشدید می‌کند که بر اثر ضربهٔ الکترونهای اولیه، زمانی‌که ولتاژ لحظه‌ای آند در حداقل است، از آند جدا می‌شوند. دو راه‌حل به‌دست آمد. راه‌حل نخست اضافه کردن شبکهٔ سوم، به‌اصطلاح توقف بود که بین شبکه ـ پرده و آند با کاتد جمع می‌شود؛ و این، همانا پنتودتلگن[2] در ۱۹۲۸ است (شکل ۵۹). راه‌حل دوم بر پایهٔ دراختیار داشتن این یا آن مسیر الکترونهای صفحه‌های مجتمع در کاتد بود. میدانی که پدید می‌آمد تمرکز مسیرهای الکترونهای اولیه را دربرابر الکترونهای ثانوی تحریک می‌کرد.

مدلهای ترکیبی دیگری بر پایهٔ تجمع عناصر چندین لامپ در یک کپسول، در تمایز کاتد مشترک قرار دارد. بر این اساس دیودهای دوگانه، تتریودهای دوگانه، تریودها ـ پنتودها، دیود ـ پنتودها و غیره ساخته شدند. پیچیدگی بسیار زیادی در ساخت فزونسازهای کامل چند طبقه‌ای در یک کپسول به‌کار رفته است. همهٔ آنچه گفته شد دربارهٔ لامپهای گیرندهٔ با توان ضعیف بود. برای گسیل امواج معمولاً از تریود استفاده می‌شد و توان آن را بتدریج بالا بردند. توان این لامپها که در آغاز چند وات بود در ۱۹۲۰ به ۲۵۰، سپس به یک کیلووات رسید و کپسول آنها سراسر شیشه‌ای شد. اختراع جوشکاری شیشه به فلز که در سال ۱۹۲۱ توسط هاوسکیپر[3] انجام گرفت ساخت لامپهای هر چه محکمتر را ممکن ساخت. آند مسی بخشی از کپسول را تشکیل می‌داد و می‌توانست با گردش یک سیال خارجی، معمولاً آب یا هوا، خنک شود. نام vapotron به لامپهای فرستنده‌ای اطلاق

1. Schottky 2. Tellegen 3. Housekeeper



شکل۵۸.نمایهٔ ترترود شبکه ـ پرده‌ای (سالهای ۱۹۲۰).
شبکهٔ اضافی بین شبکهٔ فرمان و آند گذاشته شده و به وسط باتری متصل است.



شکل۵۹.نمایهٔ پنتود (سالهای ۱۹۲۰).
شبکهٔ سوم بین شبکه ـ پرده و آند گذاشته شده و به افروزه (کاتد) متصل است.

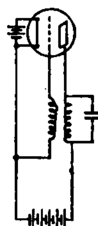
می‌شد که با تبخیر خنک می‌شدند. توان هر واحد این لامپها تا ۵۰۰ kW بالا رفت. تترودهایی هم با همین توان ساخته شدند. عمر کوتاه لامپهای اولیه سبب شد که آقای اول وک[1] در ۱۹۲۳ نوعی لامپ چند پارچه ۱۰ kW بسازد که خلأ آن توسط تلمبهٔ خلأ حفظ می‌شد. راگبی[2]، فرستندهٔ انگلیسی مدت چندین سال از چنین لامپی که توان آن به ۵۰۰ کیلووات می‌رسید، استفاده می‌کرد.

برای ساخت موج‌سازها، مدارهای مورد استفاده، بسته به مشکلاتی که باید برطرف می‌کردند، به اشکال گوناگونی ساخته شدند. پایهٔ ساخت آنها جفتگری مدار آندی، مدار خروجی با مدار شبکه و مدار ورودی بود. بدین‌منظور از ترانسفورماتورها یا اتو ترانسفورماتورها استفاده می‌شد و انطباق با اتصال خازنی به این یا آن مدار انجام می‌گرفت (شکل ۶۰). برای دستیابی به توانهای بالا، لامپها را به‌طور موازی جمع می‌کردند.

یک فرستندهٔ رادیویی در مسکو، پیش از ۱۹۴۰، تعداد ۲۰۰ لامپ را موازی قرار داده بود. به‌طورکلی در فرستنده‌های بزرگ رادیویی، لامپهای پرتوان از نوع فزونساز بودند، نه نوسانگر. نوسانگر حقیقی یا پیلوت، توان بسیار کمی داشت و بسامد آن معمولاً توسط یک کوارتز پیزو الکتریک و طبقات فزایندهٔ توان، که به لامپهای بعدی فرمان می‌دادند، ثابت نگاه داشته می‌شد.

نوسانهای پایدار: پایداری نوسانها بوسیلهٔ لامپهای الکترونی، تنها منحصر به مدارهای بازآوای الکتریکی نبود، بلکه به مدارهای مکانیکی هم از طریق جفتگری الکتریکی گسترش یافت. آقای هـ. آبراهام در سال ۱۹۱۹ پایداری نوسانهای یک دیاپازون، سپس یک رقاصک ساعت را تحقق

1. HolWeck 2. Rugby



شکل ۶۰. اصول مدارهای یک لامپ موجساز.
مدار صفحه از یک خازن و ورودی یک ترانسفومارتور تشکیل شده است؛ خروجی ترانسفورماتور جزء مدار شبکه است. واکنش سیم‌پیچ دوم روی سیم‌پیچ اول، نوسانها را پایدار می‌دارند.

بخشید. این ترتیبات به تناسب بسامدها و زمانها اعمال شده‌اند. اخیراً از آنها در آونگها یا ساعتهای رقاصکی و در ساعتهای دیاپازونی، آکوترون بولوا[1]، استفاده می‌شود. طبیعی است که ترانزیستورها جانشین لامپهای الکترونی شوند اما اصول کار، همان است. آقای م. لاوه[2] به بررسی پیگیر همهٔ این مکانیسمهای الکترونیکی پرداخت و اصلاحات چندی در آنها وارد کرد. آقای کیدی[3] در ۱۹۲۱ لرزش یک تیغهٔ بلور از کوارتز را پایدار کرد. این تیغه که نسبت به محورهای تبلور خود با جهتهای مناسبی تراشیده شده بود همراه با الکترودهای خود یک مدار بازآوای با استهلاک بسیار کم را تشکیل داد. پایداری لرزش آن بتدریج بیشتر شد زیرا برای کم کردن استهلاک لرزش و کاهش تأثیر تغییرات دما، که غالباً از محفظه‌های دارای دمای ثابت استفاده می‌شد، شکل بلور و جهتیابی آن را اصلاح کردند. برای نوسانگرهای بسیار عالی، که به‌عنوان لحظه‌شمار به‌کار می‌روند باید ثبوتی در ردیف 10^{-11} با اختلاف کم 10^{-11} در روز ایجاد می‌شد. در چند سال پیش نوعی ساعتهای کوارتزی ساخته شدند که در هر سال کمتر از یک دقیقه اختلاف پیدا می‌کنند.

بزودی آشکار شد که نوسانهای سینوسی، تنها محصول نوسانگرهای الکترونی نیستند. آقای ب. وان در پول[4] در ۱۹۳۰ نوسانهای واهلشی (لختی) پدید آمده و در مدارهای مقاومتی ـ ظرفیتی را از نظر ریاضی و تجربی بررسی کرد. نخستین این نوسانگرها را آقایان آبراهام و بلوک با نام مولتی ویبراتور در سال ۱۹۱۷ ساختند و از آن برای ایجاد جریانهای بسیار هارمونیک به‌قصد تشکیل مقیاسی از ملاکهای بسامد استفاده کردند. وسیلهٔ مشابهی در همان اوان توسط آقایان اکلز[5] و جوردن[6] به‌کار گرفته شد. بعداً کاربرد این دستگاهها توسعه یافت. گرچه دستگاه مولتی

1. Accutron Bulova 2. M. Lavet 3. Cady 4. B. Van der Pol 5. Eccles
6. Jordan

ویبراتور در پایین محدودهٔ پایداری نوسانها تنظیم شده بود، می‌توانست با یک ضربهٔ فرمان به‌کار افتد. بدین‌ترتیب، «باسکول»هایی ساخته شدند که از این پس اساس همهٔ شمارگرهای الکترونی و کامپیوترها گردیدند.

زمانی‌که بتدریج مدار خروجی یک فزونساز را با مدار ورودی آن جفت می‌کنند، پیش از آنکه نوسان آغاز شود، بخشی از جریانی را که افزون شده است به ورودی مدار تزریق می‌کنند تا باز افزایش یابد. روشن است که بدین‌ترتیب، فزونسازی نهائی، چنانچه فاز شرایط مناسبی داشته باشد، بالا می‌رود. این عمل، رآکسیون اصطلاح شده است. بدین ترتیب، گزینش مدار بازآوا، بدنبال کاهش استهلاک آن، افزایش می‌یابد.

این امر می‌تواند حساسیت را بسیار زیاد کند ـ چیزی که در سالهای ۱۹۳۰ درگیرنده‌های ساده شده بسیار مورد استفاده قرار گرفت، اما چنانچه به مرز پایداری نوسانها خیلی نزدیک شوند، بیم ناپایداری می‌رود. آقای ا. آرمسترانگ در ۱۹۲۲ «سوپر رآکسیون» را اختراع کرد، که در آن افزایش نوسانهای ایجاد شده، متناوباً توسط علامتهای افزایش یابنده قطع می‌شد. این نوع فزونسازی بسیار قوی بود اما کاربرد آن مدتها دشوار می‌نمود. در این نوع فزونسازی، هستهٔ فزونسازهای پارامتری (Mavar)، که بعدها از آنها سخن خواهیم گفت، دیده می‌شود.

چنانچه در یک مدار رآکسیونی، فاز جفتگر گذشته را وارون کنیم، فزونسازی و نیز قدرت گزینش کاهش می‌گیرد و پایداری افزایش می‌یابد. این همان کنترـ راکسیون است که به سال ۱۹۲۸ آقای پوستهوموس[1] آن را اندیشیده بود. این قضیه را آقای تلگن بررسی کرد و آقایان بوده[2] و نیکیست[3] بعدها قوانین آن را ارائه داشتند، این طرح اینک به‌طور سیستماتیک در دستگاههایی که ردیف گسترده‌ای از بسامدها را، با اعوجاج کم دامنه، به‌طور یکنواخت افزون می‌کنند مانند مدارهای خروجی فزونسازهای موزیک یا تلویزیون، به‌کار گرفته می‌شود.

تحمیل (مدولاسیون): روشهای تحمیل امواج پایدار، که موجب دسترسی به یک مرحلهٔ بسیار مهم برای ارتباطات رادیویی شد و امکان گسترش چشمگیر آن را فراهم ساخت. در وهلهٔ نخست این امر در واقع تلفنهای بی‌سیم را ایجاد کرد. پیش از اختراع تریود، مسألهٔ تلفنهای بی‌سیم، تنها به راه‌حلهای بسیار تقریبی دست یافت. تحمیل قوسها و تناوبگرها دشوار و ناقص بود، گرچه فوت و فنهای جالبی پیاپی پیشنهاد شدند، همهمه مزاحم زمینه، همیشه وجود داشت.

زمانی‌که فرستنده‌های لامپی در دسترس قرار گرفت، این موانع را می‌شد کنار زد. در پست گیرنده، لامپ آشکارساز، یک موج تحمیل شدهٔ اکثر دامنه‌ای را، دریافت می‌کرد. چنین دامنه‌ای

1. Posthumus 2. Bode 3. Nyquist

مثلاً در روش هترودینی متناوباً تغییر می‌کرد. در روش رادیوفونی که از هترودین استفاده نمی‌شود، گیرنده، صدای اصلی را به‌کمک تحمیل بازسازی می‌کرد.

چنانچه لازم به ارسال پیامی باشد، یکی از مشخصات موج را برحسب پیام، باید دستکاری کرد. در کار تلگراف، این دستکاری به‌شکل همه یا هیچ، بودن یا نبودن علامت، مثلاً در آهنگ علایم رمز مورس انجام می‌گیرد؛ اما در کار تلفن یا تلویزیون، موج حامل را متناسب با شکل جریانهای ارسالی تحمیل می‌کنند.

نوسانهای الکترونی، اساساً یک جریان با دامنهٔ ثابت ایجاد می‌کنند که آن را روی آنتن می‌فرستند و موجهای پایدار تولید می‌شود. مشخصهٔ امواج تحمیل شونده ممکن است دامنه، بسامد، یا فاز آنها باشد. همهٔ این روشها به‌کار گرفته شده‌اند. از نظر تقدم تاریخی، به‌طوری‌که می‌گویند، نخست تحمیل دامنه‌ای انجام گرفت، زیرا آسانتر از بقیه است. تحمیل دامنه‌ای یک موج حامل، از هر دو سوی بسامد حامل، به‌طور قرینه یک باند جانبی بسامد را پدید می‌آورد که حاصل جمع و تفریق بسامد حامل و بسامدهای تحمیل می‌باشند. روشهای مورد استفاده متعدد بودند. در پیشرفت پخش رادیویی، بویژه هر جا که مسألهٔ تحمیل جریانهای بسیار مهم درکار است، برای اجرای یک تحمیل بسیار دقیق جریانهای تحمیل شوندهٔ فوق‌العاده ضعیف می‌کوشند. در این تحمیل می‌توان پیش از فزونسازی قدرت، روی «طبقات کوچک» یا حتی روی «آخرین طبقات» عمل کرد و برای این کار، نخست باید جریانهای دارای بسامد شنودی را افزایش داد. ضمناً، نباید این تحمیل باعث خارج شدن لامپهای قدرت از محدوده خصوصیات خطی آنها گردد زیرا اعوجاج پدید می‌آید.

عیب تحمیل دامنه‌ای این است که پهنهٔ دامنهٔ در دسترس، برای فرستندهٔ امواج محدود است و فراتر از آن ایجاد اعوجاج می‌کند و در دستگاه گیرنده، پایینتر از آن، با پیدایش پارازیتها محدود می‌شود. به‌طورکلی این پارازیتها، گسیلهای ضعیف را آسیب می‌زنند. آقای آرمسترانگ نخستین کسی بود که در ۱۹۳۳ کاربرد تحمیلی بسامدی را به‌طور جدی مورد بررسی قرار داد و در ۱۹۴۰ آن را به‌کار گرفت. در اینجا دامنهٔ علامتها اهمیت خود را از دست می‌دهد. حتی در گیرنده هم یک مدار «محدود کننده» وجود دارد که همهٔ دامنه‌هایی را که از تراز معینی فراتر رفته‌اند حذف می‌کند. در چنین شرایطی، پارازیتها دیگر هیچ اثری ندارند و افزایش مجال دینامیکی، صداهای فرستاده شده، یا به تعبیر دیگر، جدایی pianissimos (دلنشین‌ترین صداها) از fortissimos (خشن‌ترین صداها) ممکن می‌گردد، همچنین می‌توان صداهای بسیار تیز را انتقال داد؛ گرفتن صدا عالی می‌شود.

لیکن باید ردیفهای بسامد نزدیک به بسامد حامل، بسیار گسترده باشد و زمانی این حالت وجود دارد که در ردیفهای بسیار بالا، امواج بسیار کوتاه، حدود چند متر داشته باشیم. چون چنین امواجی تنها در خط مستقیم یا در مسیر کمی خمیده پخش می‌شوند، بدین نتیجه می‌رسیم که برد آنها از چند ده کیلومتر بیشتر نخواهد بود با این حال، چنین روشی به‌طور چشمگیری، بویژه در گذر دهه‌های اخیر، گسترش یافته است.

برای گسیل علایم تلگرافی، که به‌طور همه یا هیچ عمل می‌کند، تحمیل بسامد، با دستکاری، به جابه‌جایی بسامد تبدیل می‌شود. دستگاه فرستنده، موجی با دامنه پیوسته را دایماً گسیل می‌دارد، بسامد این موج برای یک علامت یا جای خالی، متناوباً تغییر می‌کند. بدین‌ترتیب، توان تهیه شده توسط فرستنده، ثابت است و این حالت برای اجرای خوب کار و تأمین گیرندگی مفید می‌باشد، زیرا جاهای خالی، در واقع کلید زنی منفی هستند که تأییدی از کلید زنی به‌معنی دقیق آن است.

در همان آغاز کاربرد فرستنده‌های قوس برقی به این روش روی آورده شد؛ این تنها روش ممکن است زیرا قطع و وصل مجدد قوس ممکن نبود. در سالهای ۱۹۵۱ـ۱۹۳۰ از این روش برای توانهای تا هزار کیلووات، زیاد استفاده می‌شد و از آن پس روی امواج چند ده متری، تا امواج چندین هزار متری برای فرستادن خودکار با سرعت زیاد آن را به‌کار می‌گرفتند.

تحمیل فازی تنها برای گسیلهای ویژه به‌کار گرفته شد و اخیراً در برخی از فرستنده‌های بسیار قوی با امواج دارای طول موج زیاد از آن استفاده می‌شود.

روشهایی از تحمیل وجود دارد که از شکلهای علامتهای ویژه در آنها استفاده می‌شود، اما عمل آنها بر موج حامل با روشهای پیشین انجام می‌گیرد. اساس آنها، تحمیل ضربه‌ای است. این موجها به‌شکل ضربه‌های متناوب بسیار کوتاه گسیل می‌شوند. مدارها بین این ضربه‌ها «استقرار یافته‌اند» و بدین‌ترتیب می‌توان انرژی قابل توجهی را در هر یک از آنها متمرکز کرد و در دستگاه گیرنده، نسبت «علامت به همهمه» را بهتر ساخت.

رادارهای اولیه چنین عمل می‌کردند. برای گسیل علامتی با دامنهٔ متغیر (مثلاً تلفنی) با این روش، باید بر مشخصات ضربه‌ها، غیر از دامنهٔ آنها، مثلاً عمر، فاصله، موقعیت و غیره عمل کرد. همهٔ این روشها به‌شکل سریعی گسترش یافتند و بعدها دیده شد که گسیل نقاطی از منحنی کفایت می‌کند. شکل منحنی را بنوعی رمزی کردند و بدین‌ترتیب، در گسیل اطلاعات، بسیار صرفه‌جویی شد. این تحمیل ضربه‌ای رمزی شده به‌طور روزافزونی در تلفن و تلویزیون به‌کار گرفته شد. در سایهٔ این نوع تحمیل بود که ارتباط از دور در فضا، اصولاً در فواصل دور امکان‌پذیر گردید.

تحول به‌سوی موجهای کوتاه: پیشگامانی از قبیل هرتس، ریگی و غیره آزمایشهای خود را با امواجی به طول چند سانتیمتر انجام می‌دادند. دنبال‌کنندگان راه آنها، آقایان پوپوف، دوکرته، مارکونی و دیگران به مزایای زیاد کردن این طول، بویژه برای آنتنها و نیز برای میزانسازی (سنتونی) با مدارهای بازآوا پی‌بردند. آنان تدریجاً طول موجها را از چند ده متر به چندین هزار متر رسانیدند.

وانگهی ادعا کردند که این موجها می‌توانند در طول زمین خم شوند و حتی با برخورد با یونکره بازتاب کنند ـ چیزی که بعدها بدان پی‌برده شد. بدین‌ترتیب، نوعی گرایش پیوسته به‌سوی بیشترین طول موج پدید آمد. آقای لویس آستین امریکایی در ۱۹۱۳ یک فرمول تجربی در این‌باره به‌دست داد که مقدار شدت جریان را درگیرنده به نسبت افزایش طول موج تعیین می‌کند. وانگهی، زمانی‌که از تناوبگر با بسامد زیاد استفاده می‌شود، بسامد نه چندان زیاد بهتر است. بدین جهت بود که آقای بوتییون[1] در ۱۹۱۳ ایستگاهی برپا داشت که با طول موج ۳۰۰۰۰۰ متر یا ۱۰۰۰ هرتس کار می‌کرد و قله‌های کوههای دوفینه را تکیه‌گاه آن قرار داده بود (گستره این آنتنها باید در حدود طول موج آنها باشد). در سراسر جهان، از سال ۱۹۱۵ چندین فرستندهٔ ترا اقیانوسی با طول موجهای بسیار زیاد ساخته شده‌اند. در سال ۱۹۲۰ مرکز سنت آسیز، در حوالی ملون، امواجی با طول تا ۲۰ هزار متر گسیل داشت و طول موج مرکز کروا ـ دین[2] نزدیک بوردو ۲۳۴۵۰ متر بود.

اما این کار مستلزم توانهای زیاد و آنتنهای غول‌پیکر است که بسیار گران تمام می‌شوند و بازدهٔ این آنتنها هم بسیار کم ـ در سنت آسیز کمتر از ۱۰٪ بود.

برای فواصل کم از امواج با طول موج چندین صد متر استفاده شد. مثلاً بزرگترین بخش ترافیک دریایی از طول موج حدود ۶۰۰ متر، یا ۵۰۰ کیلو هرتس استفاده می‌کرد. ارتباط دیپ با بندر نیوهیون با امواج ۳۰۰ متری یا ۱۰۰۰ کیلو هرتس انجام می‌گرفت. چنین می‌اندیشیدند که طول موج کمتر، هیچ سودی ندارد، زیرا نه طرز تهیهٔ آن را می‌دانستند، و نه گرفتن آسان آن را. بنابراین، کنفرانس جهانی، گویا تحت تأثیر گسیلهای آمار تورهای باند به‌اصطلاح «۲۰۰ متر و پایینتر» (۱۵۰۰ کیلوهرتس و بالاتر)، این استخوان جویدهٔ بی‌رمق را برای حرفه‌ایها ممنوع اعلام کرد. با اینکه لامپهای الکترونی قوی در حال پیشرفت بودند، آماتورها مخالفت خود را با آن اعلام کردند و نشان دادند که با توانهای جزیی (چند وات یا کمتر) و آنتنهایی که خوب کارگذاشته شده باشند می‌توان بازده بسیار خوبی داشت و با استفاده از بازتاب بوسیله یونکره، می‌توان در فواصل چشمگیری، مثلاً از فراز اقیانوس اطلس، ارتباط برقرار کرد. آزمایشهایی که زیر نظر اتحادیهٔ جهانی رادیو ـ آماتورها در ۱۹۲۱ ـ ۱۹۲۲ به‌عمل آمد امکانات موجهای کوتاه را آشکار ساختند. در همان

1. Bouthillon 2. Croix-d'Hins

زمان پژوهش‌گران حرفه‌ای این ردیف بسامد را بررسی کردند و توسط مدارهای ویژهٔ سازگار با لامپهای موجود، ارتباطات مفیدی برقرار کردند. در فرانسه در ۱۹۲۳ آقای ر. منی[1] با همکاری رادیوی ارتش و با تشویقهای ژنرال فریه، فرستنده‌ای با طول موج ۴۵ متر یا ۶٫۶۷ مگاهرتس به نام OC ۴۵ برپا داشت که نتیجه خوبی از آن به‌دست آمد. در پرتو این تجارب، ارتباط منظمی بین استحکامات ایسی له مولینو[2] و جیبوتی برقرار شد. طول موج در این آزمایشها باز هم کوتاهتر شد و فرمانده مالگوزو[3] فرستنده OC ۹ را با ۳۳٫۳۳ مگاهرتس تجربه کرد. با لامپهای خلای آن زمان که ظرفیتهای داخلی آنها هم چشمگیر بودند، این تکنیک حالت آکروباسی یافته بود.

شرکتهای بزرگ رادیو الکتریک در این زمان به تحقیق در کاربرد عملی موجهای کوتاه روی آوردند. مثلاً مارکونی با beam system سراسر امپراطوری بریتانیا را به یکدیگر مرتبط ساخت. در واقع برای بالا بردن کیفیت ارتباط در فواصل دور، مثلاً لندن ـ استرالیا، می‌بایست انرژی را تمرکز، و کار گسیل و گرفتن امواج را با آنتنهای بسیار جهتدار انجام داد. مارکونی از شبکه‌های بسیار بزرگ آنتن عمودی استفاده کرد که تعداد زیادی آنتن با فازهای مناسب را شامل می‌شد. این کار بسیار دقیقی بود که بعدها برای شبکه‌های آنتنهای اخترشناسی از آنها تقلید شد. تشعشع در این آنتنها، عمود بر شبکه انجام می‌گرفت. در فرانسه، شرکت رادیو الکتریک و شرکت عمومی تلگراف بی‌سیم از شبکه‌های مربعی ساده شده، به نام Chireix-Mesny (نامهای سازندگان آن) استفاده کردند ـ شبکه‌هایی که بسیار کارا می‌بودند و بسیار ساده تنظیم می‌شدند. بعدها آنتنهای جهتداری ساختند که گویا کارایی کمتری داشتند اما ساده‌تر و ارزانتر بودند مانند لوزیهای افقی که در جهت قطر و طول تشعشع می‌کنند.

کهموجها (هیپر فرکانس): با وجود گسترش ردیف بسامدهای به‌کار گرفته شده، در جهت بالا، حدود ۳۰ مگاهرتس (ده متر طول موج) برای ارتباط در فواصل زیاد، جایگیریهای زیاد مراکز روزافزون، اندیشیدن دربارهٔ ردیف تازه‌ای برای ارتباط در فواصل کم را که بویژه تمرکز زیاد امواج گسیل شده یا گرفته شده را ممکن سازد، برانگیخت تا همهمهٔ ارتباطهای دیگر کاهش یابد.

حدود سال ۱۹۳۰ پژوهشهای متعددی دربارهٔ تولید موجهای چند دسیمتری، با لامپهای ویژه انجام گرفت، که به آزمایشهایی در مورد پخش و کاربرد آنها منجر شد. در ۱۹۳۵ کشتی مسافرتی نورماندی مجهز به یک آشکار کنندهٔ یخهای شناور با امواج دارای طول ۱۶ سانتیمتری شد. در ۱۹۳۳ ارتباط سن اینگلور[4] با لیم[5] با امواج دارای ۳۰ سانتیمتر طول برقرار شد. در همان اوان آقای

1. R.Mesny 2. Jssy-les-Moulineaux 3. Malgouzou 4. Saint-Jnglevert 5. Lympne

آندره کلاویه[1] و پژوهشگران دیگری نظر و عمل مدارهای جدید مربوط به این بسامدهای بسیار بالا، بیش از ۱۰۰۰ مگاهرتس، با طول کمتر از ۳۰ سانتیمتر را که بعدها هیپرفرکانسها نام گرفتند مورد مطالعه قرار دادند. این امر لحظهٔ مهمی حتی در اصول مدارها بود. تا آن زمان این مدارها با «ثابتهای متمرکز»[2] قرقره‌های القا، خازنها، اتصالات با یکدیگر و غیره بودند. حال که طول موج آن‌قدر کوچک شده است که در حدود بزرگی اجزای مدار است؛ این مدارها، مسلط شده بودند و می‌توانستند کار مجموعه را سد کنند. کمترین سیم اتصال، مدار را بکلی مختل می‌کرد. بنابراین به نوعی مدارهای با «ثابتهای گسترده»[3] روی آوردند که ابعاد آنها تابعی از طول موج مورد نظر بود. دسته‌ای از این مدارها با کابلهای هم‌محور ساخته شدند که یک رسانای مرکزی داشت که از میان یک لولهٔ رسانا می‌گذشت و عایقی که آنها را از یکدیگر جدا می‌ساخت. این کابلها به‌طورکلی برای امواج چند متری تا چند سانتیمتری به‌کار گرفته شدند، بویژه برای اتصال آنتنهای تلویزیون با دستگاه گیرنده مورد استفاده قرار گرفتند.

راه‌حل دیگری به‌کمک موجبر یافت شد که اصول آن در ۱۸۹۷ بیان شده بود. بررسی این روش در ۱۹۲۰ شروع شد و رواج آن در ۱۹۳۶ بود. در این روش، لوله‌های فلزی با مقطع مستطیلی یا گاهی استوانه‌ای به‌کار می‌رفت. موجها در داخل آنها بدون اینکه ضعیف شوند، انتشار می‌یافتند. به شرط محاسبهٔ دقیق اندازه آنها، با وسایل گوناگونی می‌شد این لوله‌ها را خم و موجها را از یکدیگر تفکیک و منحرف کرد. از این موجبرها اکنون بویژه جهت موجهای کوچکتر از ۳۰ سانتیمتر استفاده می‌شود. با بستن دو سر لوله، یک برش موجبر با طول معین می‌تواند کاواک بازآوایی هم‌ارز یک مدار بازآوا برای موجهای طولانیتر، با استهلاک بسیار کم پدید آورد.

این وسایل که تا مدتها در انحصار امواج سانتیمتری بودند در زمینهٔ موجهای میلیمتری هم به‌کار گرفته شدند. این کار طبعاً مستلزم تکنولوژی دقیقی بود، زیرا ابعاد عرضی موجبرها، بخصوص، در حدود طول این موجهاست و بدقت باید میزان شوند. در حال حاضر، کاربرد موجهای میلیمتری در حال گسترش است، مثلاً در رادارهای دقیق. بررسی موجهای در ردیف دهم میلیمتر در جریان است.

از سال ۱۹۵۸ ردیف دیگری از وسایل ساخته شدند که با امواجی به کوتاهی امواج اشعهٔ زیر

1. A.Clavier

۲. constante localisée یا lumped constant در الکترو مغناطیس، ثابت منفردی که از لحاظ برقی برابر مجموع ثابت گسترده موجود در یک مدار یا سیم‌پیچ است. ـم.

۳. Constantes reparties یا distributed constants در الکترو مغناطیس، پارامتری از مدار که در سراسر خط انتقال برق وجود دارد. ـم.

قرمز یا حتی مرئی کار می‌کنند. منظور ما امواج لیزری است که مطبوعات بزرگ با سرو صدای زیاد از آن سخن می‌گویند. بعدها آن را شرح خواهیم کرد. آنها می‌توانند امواجی فوق‌العاده قدرتمند و هدایت شده تولید کنند. در این مورد هم می‌توان موجبرهایی مانند فیبرهای نوری ساخت که نور را در مسیرهای گوناگون هدایت می‌کنند. تشعشع در هوای آزاد امکان ارتباط با فواصل دور را با تحمیل نور به آنها داده است. حد نصاب کنونی، اندازهٔ دقیق فاصلهٔ زمین تا ماه به‌کمک کاتافوتهایی[1] است که «ماه‌نشینها» روی کرهٔ ماه نصب کرده‌اند. این امواج در آیندهٔ نزدیک خواهند توانست که بر روی زمین ارتباطات تلفنی یا تلویزیونی بسیار زیادی را برقرار سازند.

تحول در لامپهای الکترونی: کاربردموجهای بیش از پیش کوتاه، تنها می‌توانست در سایهٔ راه‌اندازی لامپهای الکترونی ویژه انجام پذیرد. ما هم‌اکنون تأکید کردیم که اندازهٔ مدارها، زمانی‌که در حدود طول موج هستند، اشکال ایجاد می‌کند. همین قضیه برای الکترودهای لامپها نیز صادق است. ظرفیتهای بین الکترودها، چنانچه زیاد باشند، در بسامدهای بالا، کوته‌مداریهای واقعی ایجاد می‌کنند. اما پدیدهٔ دیگری هم دخالت می‌کند و آن طول زمانی است که الکترونها از یک الکترود به دیگری می‌رسند. معلوم است که چنانچه الکترودها از یکدیگر دور باشند طول این مدت نسبت به دورهٔ جریانهای فزون شونده، دیگر قابل چشم‌پوشی نیست و نوعی جابه‌جایی زیان‌آور فاز پدید می‌آید. برای درمان این عارضه، ابعاد لامپها را تا حد ممکن کاهش می‌دهند و اتصالات الکترودها را طوری برقرار می‌سازند که حتی‌المقدور کوتاهتر باشند. سپس با دادن شکل خاصی به الکترودها می‌توانند مسیر الکترونها را به حداقل ممکن کاهش دهند. مثلاً در فانوسهای دریایی برقی کاتد، شبکه و آند دیسکهای مسطحی هستند که با یکدیگر چندصدم میلیمتر فاصله دارند. وانگهی لبه‌های دیسکها در بیرون از لامپ، که جوشکاری فلز ـ شیشه یا فلز ـ سرامیک دارد، دیده می‌شود به‌طوری‌که می‌توان آنها را مستقیماً به مدارهای هم‌محور وصل کرد ـ روشی که القاگری را کاهش می‌دهد. از چنین لامپهایی برای ایجاد امواج چند سانتیمتری استفاده می‌شود. این نوع لامپها در اثر پیشرفتهای نیمرساناها اکنون در دستگاههای گیرنده کمتر دیده می‌شوند، اما در دستگاههای فرستنده هنوز فعال هستند.

پس از اینکه برای کوتاه کردن مدت مسیر الکترونها راه حلی یافت شد، اندیشیدند که، برعکس، از، خود این مدت برای انجام وظیفه ویژه‌ای استفاده شود. نمونه‌های اولیهٔ این لامپهای ویژه، ماگنترون بود که آقای آلبرت هال امریکایی در ۱۹۱۸ آن را طرح کرده بود. لامپ ماگنترون در حقیقت نوعی دیود است که یک آند استوانه‌ای دارد که افروزه‌ای در میان آنست، اما یک میدان مغناطیسی عمودی و قوی بر آن فرمان می‌دهد.

---

۱. Cataphote مارکی از کاتادیوپتر، سیستمی که نور را هم بازتاب می‌دهد و هم می‌شکند. ـم.

مسیرهای الکترونها تحت تأثیر این میدان، مارپیچی می‌شوند. چنانچه آند چند شکاف داشته باشد و کاواکهای بازآوایی کوچکی با اتصالات ریز با یکدیگر، آنها را مرتبط کرده باشند تأثیر متقابل الکترونها و ولتاژی که بدین‌ترتیب تولید می‌شود نوسانهای پایداری ایجاد می‌کند. بدین‌ترتیب، در سال ۱۹۴۰ آقایان موریس پونت و هانری گوتون ماگنترونهای اولیه را در رادارهای با امواج سانتیمتری مورد استفاده قرار دادند. این فیزیکدانهای فرانسوی مدلهایی از لامپ خود را به انگلستان فرستادند که در آنجا آقایان هنری بوت و جان رندال[1] همین مسائل را بررسی می‌کردند و در ۱۹۳۹ نوع دیگری از ماگنترون کاواکی ساخته بودند. شکلهای ماگنترونها بعدها بسیار تکمیل شد و توان آنها فوق‌العاده افزایش یافت. انواعی از آنها، در طرزکار ضربه‌ای، در لامپهایی که از یک مشت دست چندان بزرگتر نبودند به توان چند مگاوات دست یافتند.

انواع دیگری با طرزکار پیوسته با ۲/۵ گیگاهرتس، توانی برابر ۵ کیلووات برای تغذیهٔ کوره‌هایی که با بسامد زیاد کار می‌کنند فراهم می‌آورند.

یک لامپ ویژهٔ دیگر برای امواج بسیار کوتاه، کلیسترون نام دارد؛ این لامپ را برادران راسل و سیگرد واریان[2] در ۱۹۳۹ ساختند. این لامپ بر اساس تحمیل سرعتی الکترونهاست که طرح آن در سالهای ۱۹۳۰ توسط گروه زیادی از فیزیکدانان بررسی شده بود و نخستین نمونهٔ آن در امریکا، کمی پیش از ساخت نمونه برادران واریان (امریکایی) تهیه شد. لامپ کلیسترون، در مسیر بین کاتد و صفحهٔ مثبت دارای دو دسته شبکه است که یک «فضای سُرِش» آنها را از یکدیگر جدا کرده است. چنان‌چه بین دو شبکه دستهٔ اول یک ولتاژ متناوب اعمال شود سرعت الکترونها تحمیل خواهد شد و در فضای سُرش، بسته‌هایی از الکترون تشکیل می‌شوند که با آهنگ ولتاژ ورودی به دومین دسته شبکه‌ها می‌رسند. بدین‌ترتیب، نوعی اختلاف پتانسیل تقویت شده پدید می‌آید.

دو دسته شبکه در حقیقت در نقش دوکاواک بازآوای منطبق، داخلی یا خارجی هستند. چنانچه توسط یک حلقهٔ جفتگر، این دوکاواک با یکدیگر اتصال یابند این لامپ فزونساز به نوسانگر تبدیل می‌شود. برای توان بسیار کم، درگیرنده تنها یک کاواک وجود دارد که با بسته‌های الکترون در دو جهت پیش رفته است و این بسته‌ها روی صفحهٔ-آخری که منفی شده است منعکس می‌شوند. کلیسترونهای پرتوان پیوسته (۲۰ کیلووات) ساخته شده‌اند فعلاً، علاوه‌بر کاربردهای دیگر، در همهٔ فرستنده‌های تلویزیونی فعال هستند. در بعضی موارد، مدلهایی ۲۵۰ کیلووات با ۵۰۰ مگاهرتس ایجاد می‌کنند و هنوز با ۳ گیگاهرتس کار می‌کنند. لامپهای دیگری که موجهایی پخش می‌کنند و با عنوان TPO یا (Tube a Propagation d'Onde) تقریباً در همان سالها، درپی پژوهشهایی

1. J.Randall 2. Russel & Sigurd Varian

که از ۱۹۳۳ شروع شده بود، ساخته شدند و در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۴۷ تکمیل یافتند. در این لامپها از ترکیب سرعت الکترونها و سرعت پخش امواج در طول یک الکترود مارپیچی، که الکترونها از عرض آن می‌گذرند استفاده شده است. در اینجا هم، چنانچه ترکیب بخوبی تنظیم شده باشد، یک اثر فزونسازی یا نوسانگری به‌دست خواهد آمد.

در زمانی‌که کلیسترونها تنها با بسامد کاواکها کار می‌کردند، لامپهای TPO می‌توانستند در باند نسبتاً گسترده‌ای از بسامد عمل کنند. یک مدل نزدیک به‌آن، لامپ کارسینوترون[1] است که در ۱۹۵۰ در فرانسه ساخته شد بر پایه یک موج معکوس عمل می‌کند. این لامپ می‌تواند با موجی به طول یک میلیمتر، توانی برابر یک وات و با طول موج نیم میلیمتر، توانی برابر ۰/۱ وات تولید کند.

همهٔ این لامپهای گوناگون ویژه، بسامدهای بسیار بالا و مناسب رادیو الکتریک، بیش از سه هزار گیگاهرتس، موجهای زیر میلیمتری تولید می‌کنند.

بازگشت به طول موج بالا: در زمانی‌که در اندیشهٔ کنار گذاشتن قطعی موجهای کیلومتری و میر یا متری و مراکز دست و پاگیر آنها و تعویض آنها با بسامدهای هرچه بالاتر بودند، طی دههٔ ۶۰، جنبش مخالفی سربرداشت. از یکسوی به‌کاربرد موجهای کیلومتری برای ارتباطات در مقیاس قاره‌ای، به دلیل منظم بودن پخش آنها ادامه داده شد، و از سوی دیگر، به استفاده از ایستگاههای قدرتمند با آنتنهای غول‌آسای مربوط به موجهای در ردیف بیست کیلومتر و بیشتر، روی‌آوردند.

این بار، هدف دیگر استقرار ارتباطات «نقطه‌به‌نقطهٔ» ثابت نبود، بلکه رابطه با زیردریاییهای شناور در زیر آب بود. در واقع، همان‌طورکه آقای موریس و دوبروی در ۱۹۱۷ تجربه کرده بود، تنها موجهای بسیار بلند می‌توانستند در آب دریا نفوذ یابند. قدیمی‌ترین پروژهٔ امریکایی که به‌کار گرفته شده است، Sanguine ارتباط با زیردریاییها را در عمق زیاد آب، با بسامدهای تنها چند هرتسی تأمین می‌کند. موجهای بزرگ امکان ارتباط را هم به‌طور کاملاً منظم با کشتیها در سطح آب ایجاد کرده‌اند و هم شبکه‌های ناوبری رادیویی فراهم آورده‌اند که کشتیها و هواپیماها را با دقت فوق‌العاده، حتی در نقطهٔ قرینه در زمین هدایت می‌کنند.

ناوبری رادیویی در فواصل متوسط، که در زمان جنگ جهانی دوم برای راهنمایی کشتیهای جنگی و هواپیمای بمب‌افکن ایجاد شده بود، بویژه از امواج کوتاه استفاده می‌کرد؛ اما اساس هندسی آن برای فواصل بزرگ طرحریزی شده بود. اساس آن چیزی جز مدت مسیر امواج بین شیئی متحرک و ایستگاه زمینی نیست. مثلاً مکان هندسی نقاطی که اختلاف زمانهای مسیر نسبت به دو فرستنده، مقدار ثابتی است یک قوس هذلولی (کروی) است که کانونهای آن همین فرستنده‌ها

1. carcinotron

هستند و بنابراین، علایم همزمان می‌باشند. افزایش یک فرستندهٔ سوم، هذلولهای دیگری می‌دهد که تقاطع آنها نقطهٔ مورد نظر است. امواج گسیل شده اساساً از ضربه‌های کوتاه متناوب تشکیل شده‌اند و تعیین اختلاف زمانهای رسیدن این ضربه‌ها از ساحل، کار آسانی است. پذیرش موجهای بزرگتر، امکان کاربرد ضربه‌ها را منتفی می‌کرد، اما مقایسهٔ فازهای خود موجها ما را به دقتی باز هم بالا می‌رساند.

برای این روش سیستمهای متعددی ارائه شده‌اند، که ما بعضی از آنها را ذکر می‌کنیم. سیستم بریتانیایی DECCA با امواج سه هزار متری و ۱۰۰ کیلوهرتس از زمان جنگ در اروپای غربی برای هواپیماها بسیار به‌کار گرفته می‌شود و بر پایهٔ مقایسهٔ فاز موجها در رابطهٔ دقیق با بسامد عمل می‌کند. سیستم LORAN C امریکا با دقیقاً ۱۰۰ کیلوهرتس کار می‌کند و رسیدن علایم منتشر در طول زمین را از علایمی که در یونکره جابه‌جا می‌شوند تشخیص می‌دهد. به‌کمک این سیستم می‌توان زمانها را با دقت حدود $0/1 \mu S$ تخمین زد و اندازه‌گیریهای فوق‌العاده دقیقی، بویژه با در نظر گرفتن مشخصات برقی زمین زیر مسیر موج، به‌عمل آورد. بین ممالک متحدهٔ امریکا و اروپا و نیز ژاپن شبکه‌های ارتباطی وجود دارند.

شبکهٔ OMEGA امریکا، که بعداً جهانی شد، پهنهٔ زمین را دربرمی‌گیرد. این شبکه با بسامدهای حدود ده کیلوهرتس (طول موج ۳۰ کیلومتر) کار می‌کند. ایستگاههای گوناگونی پیاپی با همین بسامد به گسیل موج می‌پردازند؛ گیرنده‌ها با حفظ حافظهٔ فازها و مقایسه آنها عمل می‌کنند. با تعبیه‌های گوناگونی، بویژه به‌کمک جدولهایی که وضعیت پخش در یونکره را برحسب ساعت و فصل به‌دست می‌دهند، دقت در حدود مایل دریایی است. در نیمکرهٔ شمالی، سه ایستگاه (در امریکا، نروژ، هاوایی)، و در نیم‌کرهٔ جنوبی نیز سه ایستگاه (رئونیون، استرالیا، آرژانتین) ساخته شده‌اند. اتحاد جماهیر شوروی [سابق] نیز تجهیزات مشابهی دارد.

رشتهٔ نیمرساناها

زمانی‌که نخستین «بی‌سیم‌چیها» با خواص بسیار عالی آشکارسازی تماس نوک فلزی با بلور گالن برخورد کردند، رشتهٔ تازه‌ای کشف شد که پیشرفت آن چهل یا پنجاه سال است که ادامه دارد و مرزی نمی‌شناسد: رشتهٔ نیمرساناها. آشکارساز گالنی، نخستین «دیود در حالت جامد» بود. در واقع این کاربرد به‌تعویق افتاده، پیامد رشتهٔ طویلی پژوهشهای گوناگونی بود که حدود یک سده ادامه داشته است.

گویا نخستین مشاهدات در این زمینه به فاراده مربوط می‌شود که در سال ۱۸۳۳ کشف کرد که برخلاف فلزات که مقاومت برقی آنها با دما افزایش می‌یابد، از مقاومت سولفات نقره با افزایش دما کاسته می‌شود. بعدها در ۱۸۷۳ آقای و. اسمیث مشاهده کرد که از مقاومت سلنیم با بالا رفتن روشنایی آن کاسته می‌شود. سرانجام، مشاهدات گوناگون دیگری سبب شد که در ۱۸۸۵ چهار خاصیت بنیادی نیمرساناها کشف شوند: مقاومت با ضریب دمایی منفی، نور- رسانایی، نورابرقی، سرانجام خاصیت یکسوی‌کنندگی.

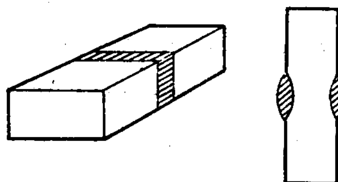
از همان دهۀ نخست پیدایش تلگراف بی‌سیم، پژوهشگران متعدد امریکایی، در طی سالهای ۱۹۰۴ تا ۱۹۱۰ نشان دادند که تماس یک نوک فلزی با قطعه‌ای از گالن یا چند جسم دیگر، خاصیت آشکارسازی خوبی دارد. پس از یک دورۀ بی‌تفاوتی، چنین می‌نماید که این تحقیقات در سال ۱۹۲۰ از نو بشدت از سرگرفته شد. کنتاکتهای دیگر به‌اصطلاح ناکامل، مانند زنسیت ـ بورنیت نیز مورد آزمایش قرار گرفتند. سپس نوبت به کنتاکت مس با اکسید مس شد که نخستین یکسوی کنندۀ قابل استفاده جریان، حتی برای «جریانهای قدرتمند» را پدید آورد.

همۀ برقکاران از مدتها پیش در رویای داشتن فزونساز بدون کاتد گرم بوده‌اند. حدود سال ۱۹۲۴ محققان متعددی که اکثر آماتور بودند برای اینکه از کنتاکتهای بلورهای مختلفی که با ولتاژ پیوسته‌ای قطبی شده‌اند فزونساز تهیه کنند کوشیدند. با ساخت Cristadyne ها نتایجی به‌دست آمد، اما پیشرفتی حاصل نشد.

در سال ۱۹۴۸ بود که آقایان ویلیام شاکلی[۱] و والتر برتن[۲] و جان باردین[۳] با همکاری لابراتوارهای بل، پس از بررسیهای پیگیر خواص بعضی اجسام به‌اصطلاح نیمرسانا، نظیر بلورهای ژرمانیم و سیلیسیم، با کنتاکت با نوکهای فلزی یا با یکدیگر، توانستند به یک اثر فزونساز قابل استفاده دست یابند (شکل ۶۱). پاداش این کارها برای آنها جایزۀ نوبل سال ۱۹۵۶ در فیزیک بود. آنان امکان ساخت قطعه‌ای مشابه تریود، الکترود فرمان و الکترود خروجی، بدون کاتد گرم شونده را نشان دادند، درحالی‌که جابه‌جایی الکترونها نتیجۀ اِعمال ولتاژ مناسب با الکترودهای مختلف بود. آنان این قطعه را ترانزیستور نامیدند که فشرده اصطلاح transconductance resistor است. و از آن پس تودۀ مردم، «ترانزیستور» را گیرنده‌ای دانستند که به‌جای لامپ الکترونی از ترانزیستور استفاده می‌کند.

ترانزیستورها که در آغاز کمیاب، گران و کار کردن با آنها دشوار بود، به‌طورکلی شامل همۀ نیمرساناهایی می‌شدند که دو، سه و حتی چهار الکترود داشته باشند؛ این نیمرساناها از سالهای

1. W.Shockley 2. W.Brattaine 3. J.Bardeen



شکل ۶۱.نمایهٔ دو نوع اولیه ترانزیستورهای پیوندی صنعتی شده در سال ۱۹۵۱.
سمت چپ: متوازی‌السطوح بالا در بلوری از ژرمانیم که با روش کشش تهیه شده است، دو تکه شده است؛ کنتاکت پایه در مرکز است و در دو طرف بلور کنتاکتهای فرستنده و گردآور است. سمت راست، گلوله‌های کوچک اندیم روی دو طرف متقابل یک متوازی‌السطوح ژرمانیم وصل شده‌اند.

۱۹۵۰ به بعد به تعداد میلیاردها ساخته شده‌اند و بهای آنها چنان ارزان گردید که دیگر کسی به بهای آن توجهی نمی‌کند. عمر آنها مرزی نمی‌شناسد استحکام زیاد و حجم کمی دارند.

تعویض کاتد گرم با کاتد سرد، انرژی لازم برای کار آن را فوق‌العاده پایین آورده است؛ وانگهی ولتاژ تغذیهٔ الکترودهای فعال، چند ولت بیش نیست، درحالی‌که ولتاژ آندی لامپهای الکترونی در بعضی مدلها، تنها چند ده ولت کاهش یافته است و معمولاً چند صد ولت است. این امر در تکنیک رادیو الکتریک و الکترونیک، انقلابی با همان اهمیت پیدایش لامپهای خلأ پدید آورد.

نیمرسانا، بلوری از ژرمانیم و سیلیسیم معمولاً بسیار خالص است که «ناخالصیهایی» را که بدقت برگزیده شده‌اند، در مقدار ناچیزی، بین 10^{-6} تا 10^{-9}، اما کاملاً به‌مقدار دقیق، در آن وارد می‌کنند. بعضی از اجسام وقتی در این «دوپینگ» وارد می‌شوند بارهای مثبت اضافی می‌دهند و آن را نیمرسانای نوع «P» می‌نامند و قبول الکترون می‌کنند، اما اجسام دیگری که برعکس بار منفی اضافی می‌دهند، نیمرسانای نوع «n» هستند، و الکترون می‌دهند.

ترانزیستورهای اولیه، معلوم است که سریعاً تکمیل و بسیار گوناگون شدند. در آغاز کنتاکتها: نوکهای فلزی، یک ورودی «فرستنده» و یک خروجی «گردآور» روی بلور ژرمانیم اولیه، «پایه» که، بسیار شکننده بود با کنتاکت بین سه بلور ژرمانیم با مشخصات الکترونیکی معکوس pnp یا npn ، که با وارد کردن ناخالصیهای مناسب به‌دست آمده‌اند و قطعهٔ جامدی را تشکیل می‌دهند، تعویض شدند.

بهتر شدن روش آماده‌سازی بلورها، افزایش کارایی ترانزیستورهای ساخته شده را موجب شد. مثلاً همهمهٔ داخلی که در آغاز بسیار شدیدتر از همهمهٔ لامپها بود، کاهش یافت. بعدها توانستند

دما را از مرزی که خصوصیات آنها را از بین می‌برد ـ ۶۰ تا ۷۰ درجه ـ بالاتر برند. کاربرد ژرمانیم به‌جای سیلیسیم نیز تأمین کار آنها را به بهای یک تکنولوژی بسیار دشوارتر، بهتر کرد. در این رشته نیز مانند لامپهای الکترونی، افزایش تعداد الکترودها در بعضی موارد امکانپذیر بود.

خود بنیاد ترانزیستورها هم دست‌خوش تغییراتی شد. تأثیر الکترود ورودی بر بلورها می‌توانست گوناگون باشد. بنابراین ترانزیستورهای نفوذی، گریدیستور[1]ها و تکنترون[2]ها و غیره ساخته شدند. تکمیل این دستگاهها غالباً به بالابردن مرز بالایی بسامد کار آنها مربوط می‌شد. ترکیبات دیگری از عناصر ساختاری نیز ساخته شدند، مانند سیستم MOS کنونی که نیمرسانای فلز با اکسید آن است. از پدیده‌های متعدد جدید هم: اثر هال، اثر تونل، اثر گان[3] استفاده می‌شود.

طرزکار ترانزیستورها و همچنین کاربرد آنها مشابه لامپهای الکترونی است. بدین ترتیب، تکرار آن مطالب در اینجا بیهوده است. با این همه، یک تفاوت اساسی، بین این دو سیستم وجود دارد: درحالی‌که فرمان لامپ الکترونی با تغییر ولتاژ وارد بر الکترود ورودی است، در ترانزیستور با پایهٔ مشترک، این فرمان در اثر تغییر مقدار شدت انجام می‌گیرد. نتیجه می‌گیریم که امپدانسهای مدارها کاملا متفاوت و معمولاً بسیار ضعیفتر از مقدار آن در لامپهای الکترونی هستند، و این امر در مواردی، عیب سیستم است. برای برطرف کردن آن، نقشهای اولیهٔ الکترودهای گوناگون (فرستنده، پایه، گردآور) را تغییر دادند؛ کاری که در موارد بسیار استثنایی در مورد لامپهای الکترونی هم انجام گرفته است. مثلاً در یک لامپ الکترونی، تغذیه معمولاً از راه شبکه است و کاتد، الکترود مشترک دو مدار می‌باشد.

در مواردی، با امواج کوتاه، ازکاتد به‌عنوان الکترود ورودی استفاده می‌شود و شبکه، که به‌صورت یک کل است، پرده‌ای بین کاتد و آند می‌شود. همین‌طور، در ترانزیستورها به‌جای اینکه پایه (بلور میزبان) را به‌صورت یک کل تلقی کنند نقش الکترود تغذیه کننده به‌آن می‌دهند و فرستنده درکل برای مدار ورودی و خروجی مشترک است، و بالاخره گردآور نقش الکترود خروجی را دارد. این دستکاریها، شرایط کاربرد نیمرساناها را کاملاً اصلاح کرد و آنها را به مشخصات لامپهای الکترونی نزدیک ساخت.

تحول ترانزیستورها، مانند لامپهای خلأ از دو سوی بوده است: افزایش قدرت و مرز بسامد اجرای کار. در آغاز، مرز بسامد پایین بود و ساخت وسایل مناسب موجهای کوتاه را دشوار می‌کرد. اکنون این مرز آن‌قدر بالاست که همهٔ دستگاههای معمولی می‌توانند از ترانزیستور سود برگیرند ـ مثلاً گیرنده‌های تلویزیون، که بویژه از بسامدهای بالاتر از هزار مگاهرتس استفاده می‌کند. دربارهٔ توان

1. gridistor 2. technetron 3. Gunn

باید گفت که به مدلهایی با چندین کیلووات دست یافته‌اند. فشردگی و جامد بودن ترانزیستورها، خنک شدن آنها را در شرایط توان بالا تسهیل می‌کند زیرا می‌توان آنها را با رادیاتورهای پره‌داری که با محفظه فلزی آنها یکی می‌شوند مجهز کرد.

لامپهای ویژهٔ الکترونی می‌توانند شدتهای بسیار بالای مورد استفادهٔ الکتروتکنیک ایجاد کنند. مثلاً لامپ تیراترون[1] (۱۹۱۹)، تریودی که با بخار جیوه، آرگن، هیدروژن و غیره پر شده‌است می‌تواند با توان بسیار کمی، انرژی چشمگیری بیرون دهد و زمانی‌که به نیمرسانا تبدیل شد آن را تیریستور[2] نامیدند که مشخصات بسیار خشن و عملاً همه یا هیچ را دارد. تیریستور به‌طور کلی در نقش یکسوی کننده‌ای که از ولتاژ خارجی فرمان می‌گیرد عمل می‌کند. تنظیم شدت برای اینکه در حد پایین باشد با تنظیم فاز ولتاژ متناوب فرمان امکان دارد. این ولتاژ به طریقی سینوزویید را در قطعه‌های نسبتاً عریضی قطع می‌کند. تیریستور که بسیار محکم، کوچک و دارای بازده بسیار بالایی است، در انواع کاربردهای الکتروتکنیکی، نه رادیوالکتریکی، بی‌نهایت رواج یافته است. بدین‌ترتیب، لوکوموتیوهای برقی با تغذیهٔ چندین هزار کیلووات با جریان متناوب ۲۵ هزار ولتی SNCF (شرکت ملی راه آهن) حرکت می‌کنند، این جریان به جریان مستقیم تبدیل و تنظیم می‌شود و موتورهای کشش را تغذیه می‌کند. کاربرد بسیار پیش‌پا افتاده تیریستورها، تنظیم سرعت موتور کوچکی است که مثلاً یک مته دستی را با جابه‌جا کردن فاز ولتاژ فرمان، می‌گرداند.

اثر فوتوالکتریسیته: از جمله لامپهای الکترونی، لامپی است که سرگذشتی طویل و فشرده دارد و آن سلول نورا برق است که انرژی نور را به جریان برق تبدیل می‌کند.

در سال ۱۸۷۳ تغییر مقاومت سلنیم متناسب با روشن‌سازی آن، به‌طور تصادفی توجه دو عامل کابل تراطلسی بریتانیا با نامهای و. اسمیت و می[3] را به خود جلب کرد. در سال ۱۸۷۷ آقای هرتس بنوبهٔ خود شاهد اثر فوتوالکتریسیته در ایجاد جرقه‌هایی در یک دستگاه جرقه‌زن بود. آقای سنلک بدون تردید نخستین کسی بود که به‌کاربرد سلول فوتوالکتریکی برای انتقال تصاویر بوسیلهٔ تلگراف در همان سال اندیشید.

دو سال بعد این مأمور ثبت اسناد که به‌علم دل‌بسته بود و درک فیزیکی داشت وسیله‌ای طرح کرد که یک ردیف سلولهای سلنیمی متصل به یک دستگاه گردنده، تصویر را تجزیه می‌کردند ـ وسیله‌ای که ساخته نشد. این طرح، پایهٔ دستگاه الکترونی تجزیه کننده‌ای بود که در ۱۹۴۷ در لامپ ویدیکون[4] برقرار شد. سرانجام آقای آرتورکورن[5] در آلمان در ۱۸۹۵ و آقای ادواردبلن در فرانسه در ۱۹۰۶ سلول نورابرقی را مورد استفاده قرار دادند.

1. thyratron 2. thyristor 3. May 4. vidicon 5. A.Korn

عکسبرداری تلگرافی که بدین‌ترتیب ایجاد شد، با چند تفاوت نسبتاً اساسی، پیش‌نمونهٔ تلویزیون بود. انتقال اسناد عکسی توسط بی‌سیم با فزونسازی بوسیله لامپها، پس از ۱۹۱۸ ممکن شد.

آقای آینشتاین، پیش‌بینی کرده بود که ضربهٔ فوتونها بر بعضی از فلزات سبب خروج الکترونها از آنها می‌شود. در آغاز سدهٔ بیستم، دیودهای گازی گوناگونی ساخته شدند که در آنها چنانچه سطح حساس شده از پتاسیم، سولفیدکادمیم و غیره روشن می‌شدند، جریانی برقرار می‌شد. آنها کمترین روشنایی را آشکار می‌کردند و از آنها در پایهٔ سیستمهای اولیهٔ تلگرافهای عکسی و تلویزیون نیز می‌شد استفاده کرد. حساسیت این سلولها با کاربرد فزونسازهای الکترون بسیار بالا رفت.

زمانی‌که یک الکترون سریع با سطح فلزی از آند که بخوبی آماده شده‌است برخورد می‌کند چندین الکترون به‌اصطلاح ثانوی از آن جدا می‌سازد، که آند بعدی را جذب می‌کند. بدین‌ترتیب، جریان نخستین را می‌توان میلیونها بار افزایش داد.

بعدها در طی دههٔ ۵۰، عناصر نورابرقی نیمرسانا ساخته شدند. پهنهٔ شدت جریان در آنها بسیار گسترده است: از وسایل بسیار حساسی که در اخترشناسی به‌کار گرفته می‌شوند گرفته تا پیلهای آفتابی که چندین کیلووات توان دارند و سفاین فضایی که بسیار به‌کار گرفته می‌شوند.

وانگهی عناصری از نیمرسانا ساخته شدند که تحت تأثیر ولتاژ الکتریکی، نور منتشر می‌کنند. ترکیب این دو نوع دستگاه، تکنیک تازه‌ای به نام اپتوالکترونیک Optoélectronique را پدید آورد که نور و جریان برقی جانشین یکدیگر می‌شوند، و نتایج بسیار جالبی به‌دست می‌دهند.

بدین‌ترتیب چنین می‌نماید که توسط نیمرساناها همه مشکلات باید رفع می‌شدند و لامپهای الکترونیک ارزش خود را از دست می‌دادند. اما این لامپها هنوز هم برجای هستند و در بخشهایی بدون جانشین مانده‌اند، از جمله لامپهایی که توان بسیار زیادی گسیل می‌دارند و نیز کلیسترونهای توان.

دستهٔ دیگری از لامپهای الکترونی، با وجود پژوهشهای نوید بخشی که برای ساخت در حالت جامد معادل لامپ نوسان‌نگار کاتدی در جریان است، هنوز معادلی در حالت جامد ندارند. هدف بسیاری از این پژوهشها به‌دست آوردن یک رد روشن روی پرده است که تغییرات ولتاژ یا شدت را نشان دهد. روشهای الکترومغناطیسی، بر اساس گالوانومتر، نخستین روشهای مورد استفاده بوده‌اند. این روشها تکامل زیادی داشتند، (مثلاً با نوسان‌نگار آندره بلوندل ۱۸۹۱)؛ اما اینرسی آنها، بسامدهایی را که می‌تواند داشته باشد ناگزیر محدود کرده است. آقای فردیناندبراون آلمانی نخستین کسی بود که در سال ۱۸۹۷ از انحراف دسته اشعهٔ الکترونی، که در آن زمان کاتدی نامیده می‌شد، برای ایجاد یک

رد روشن روی یک پردهٔ فلوئورسان یا یک صفحهٔ عکاسی استفاده کرد. برای تهیهٔ الکترونها از یک کاتد سرد، ولتاژ آندی چشمگیری باید اعمال می‌شد. در سال ۱۹۱۸ آقای ا.دوفور[1] مدل تکمیل شده، گرچه پیچیده‌ای (ولتاژ بالا، خلأ پایدار) از آن را ساخت. در سال ۱۹۰۵ آقای آرتورونلت[2] از برلین به‌جای کاتد سرد از کاتد گرم استفاده کرد، و ج. جانسون امریکایی در ۱۹۲۲ یک نمونهٔ صنعتی و عملی آن را ساخت. بعدها الکترودهای انحراف دهندهٔ الکتروستاتیکی یا قرقره‌های انحراف دهندهٔ الکترومغناطیسی، همچنین تمرکز دستهٔ الکترونها را بهتر کردند. و بدین‌ترتیب، لامپهای الکترونی حساستری ساخته شد که در اثر شتاب الکترونها روشن‌تر می‌شدند. در اثر سریعتر شدن حرکت الکترونها بعضی از لامپها توانستند جریانها را تا ۱۰۰ مگاهرتس دنبال کنند. رنگهای رد روشن نیز تغییر داده شد.

این نوع لامپها کاربردهای بسیارگوناگونی دارند. نخستین کاربرد آنها، همان‌طورکه معلوم است، آزمایش نوسان‌نگاری شکل یا فاز جریانها و اندازه‌گیری آنهاست. اینرسی کم، اندازه‌گیری دقیق زمانهای کوتاه و ضربه‌ها را ممکن می‌سازد. رادارها از این خاصیت استفادهٔ فراوان می‌برند. بالاخره، همهٔ تصویرگیری تلویزیونی برپایهٔ این «لامپ تصویر» است که نخستین کسی که آن را به‌کارگرفت، آقای روزینگ[3] به سال ۱۹۰۷ بود.

تلویزیون نیاز به‌کاربرد لامپهایی دارد که بنوعی معکوس لامپ تصویر باشند: لامپ دوربین تلویزیونی، یا ایکونوسکوپ (تمثال نما)، تصاویر نوری دریافتی را به جریانهای قابل استفاده تبدیل می‌کند. تصویر روی موزائیکی از سلولهای ریز نورابرقی می‌افتد که یک به‌اصطلاح قلم مویی از الکترونها طی روبشهای خود، آنها را کشف می‌کند. دربارهٔ این دستگاهها، بعداً سخن خواهیم گفت.

باز هم باید از دوربین الکترونی ساخت آقای ا. لالمان[4] اخترشناس، در سال ۱۹۵۰ به‌عنوان یک لامپ الکترونی ویژه یاد کرد. در این دوربین نیز، مانند ایکونوسکوپ، تصویر نخست، جریانهایی ایجاد می‌کند که می‌توان آنها را افزایش داد. این جریانها بنوبهٔ خود، نوعی تصویر الکترونی می‌سازند که می‌تواند روی نامیز (امولسیون) عکاسی تأثیرگذارد. بدین‌ترتیب، در اخترشناسی می‌توان زمانهای مکث عکسبرداری را در نسبت ۱۰۰ کاهش داد. وسیلهٔ مشابهی که نسبت به پرتوهای زیر قرمز حساس است و به یک پردهٔ فلوئورسان ختم می‌شود امکان «دیدن در تاریکی» یا مه را ایجاد کرده است؛ این به‌اصطلاح ترانسفورماتور نور، پیشرفتهای زیادی داشته است.

کم شدن حجم: یکی از مهم‌ترین پیشرفتهای فنی در وسایل الکترونیکی، کم شدن تدریجی حجم آنهاست و در این راه نتایج باور نکردنی به‌دست آمده است. لامپهای الکترونی اولیه، حجمی برابر

1. A.Dufoue 2. A.Wehnelt 3. Rosing 4. A.Lallemend

لامپهای روشنایی داشتند. عقلایی کردن الکترودها و محفظهٔ آنها، اندازهٔ آنها را برابر استوانه‌ای به قطر دو و طول چهار تا پنج سانتیمتر کاهش داد.

کاهش چشمگیرتر، بعدها با به‌کار گرفتن امواج بسیار کوتاه برای کاستن طول اتصالات به‌دست آمد. مثلاً «لامپهای دگمه‌ای» که کمی پیش از ۱۹۳۹ ساخته شدند، از هرطرف اندازهٔ آنها از یک سانتیمتر بیشتر نیست. بعدها، برای موارد خاص، بویژه ارتشی، با توان بسیار کم، لامپهایی به‌قطر چند میلیمتر و درازی دو تا سه سانتیمتر ساخته شد. سرانجام به ساخت لامپهای الکترونی «دانه گندمی» برای چاشنیها یا فیوزهای خودترکان مجاورتی، که بزرگی آن از نامش پیداست، روی آوردند.

در مورد ترانزیستورها هم چنین تحولی ایجاد شده است. خود عنصر فعال، همیشه کوچک و حدود چند میلیمتر بود، اما در جعبه‌ای، دارای اتصالات، گذاشته می‌شد. این جعبه را، جز برای عناصر توان که شدت در الکترودها و لزوم خنک شدن آنها مستلزم سطح کافی است، بتدریج کوچک کردند. در زمان حاضر ترانزیستورهای منفرد حدود سه میلیمتر قطر و کمتر از ده میلیمتر طول دارند. دربارهٔ ترانزیستورهای به‌اصطلاح مجتمع بعدها سخن خواهیم گفت.

مشکل دیگر، کاهش حجم زیاد مدارهای وابسته به لامپها و بعد به ترانزیستورها بود. یک ترتیب تحمیل شده امکان کوتاه کردن اتصالات و تمرکز عناصر گوناگون را فراهم ساخت. بعداً به مدارهای چاپی در اواخر دههٔ ۵۰ روی آوردند. به‌جای نصب عناصر گوناگون روی یک قاب و اتصال آنها با سیمهای جوشکاری شده به‌یکدیگر، با فلز پوشانی عکسی یک صفحهٔ عایق، اتصالات را به‌شکل پوسته‌های نازکی از مس برقرار می‌کنند. جاگذاری اجزای تشکیل دهنده از سوراخهایی انجام می‌گیرد که دور یک حلقه مسی را گرفته‌اند. این حلقه مسی با اتصالات مرتبط است. این اجزا جاگذاری و سپس با آن حلقهٔ مسی، تک‌تک یا جمعی در سطح یک حمام مذاب، جوشکاری می‌شوند. طبعاً ترتیب اتصالات به این شکل مسطح، مستلزم بررسیهای عمیقی است، اما بعداً این مجموعه آمادهٔ تولید به‌شکل انبوه است زیرا با چنین «نقابی» امکان چاپ سریع تعدادی از آنها ایجاد می‌شود. بدین‌ترتیب، می‌توان مقاومتها، خازنها و حتی مقاومتهای القایی (اندوکتانس) کوچک، یعنی مارپیچهای مسطح را چاپ کرد. این مجموعه یک کل را، یک کارت بسیار فشرده و محکم را تشکیل می‌دهد.

غالباً این کارتهای چاپی مجهز به تیغه‌های کنتاکت هستند که در فکها وارد می‌شوند تا سوار کردن، پیاده کردن و تعویض صفحاتی که اجزای آن هستند ساده و سریع انجام گیرد. این صفحات را هرگز تعمیر نمی‌کنند بلکه با صفحهٔ دیگری تعویض می‌کنند. چنین سیستمی است که ساخت

کامپیوترهای بزرگی را که هزاران کارت درون آنهاست ممکن ساخته است.

اما این پیشرفت بزرگ، کافی نبود. مینیاتوری کردن، مرز نهایی کار نیست و باید به‌سوی میکرومینیاتوری کردن گام برداشته شود. از یکسوی درپی کاستن از حجم وسایل، بویژه دستی، فرستنده‌ها و گیرنده‌های جیبی، حتی تلویزیونهای کوچک برآمدند.

خود تسخیر فضا انگیزهٔ کاهش هرچه بیشتر حجم دستگاهها شد. سرانجام مدارهای بی‌شمار کامپیوترها، که هر روز پیچیده‌تر و سریعتر می‌شوند باید تا جایی‌که بتوان، کوچک و اتصالات آنها کوتاه گردند. بنابراین، در اواخر دههٔ ۶۰ به تکنیکهایی روی آورده شد که در آنها تنها یک بلور نیمرسانا را، از نظر شیمیایی یا برقی در جاهای بسیار مشخص آماده می‌کردند. هر نقطه می‌توانست خصوصیات ترانزیستوری داشته باشد. این بار، دیگر اتصالاتی درکار نبود و با یک قطعهٔ واحد سروکار داشتیم. این قطعهٔ مجتمع در این صورت می‌توانست اندازه‌ای در ردیف میلیمتر یا کمتر داشته باشد. در چنین وضعی با این تناقض روبه‌رو شدند که این دستگاه برای اتصالات ناگزیر جهت ارتباط با مدارهای تغذیه، کموتاسیون و کاربرد، کوچک است. در اینجا هم تکنولوژی از نقابهای عکاسی و پدیدهٔ فوتوشیمیایی بسیار استفاده کرد.

چند مشکل ویژه: برای اینکه از همهٔ این تکنیکها به‌صورت بی‌خطر و آسان چنان استفاده کنیم که هرکس از عهدهٔ آن برآید، طبعاً باید دستگاههایی را که از لابراتوار بیرون می‌آیند به وسایل محکم و با دوام تبدیل کرد. این هدف در دههٔ اخیر (دههٔ ۷۰)، بویژه تحت تأثیر تحقیقات فضایی، که بی‌خطر بودن در آن برهمه چیز تقدم دارد، رشتهٔ تازه‌ای از تکنولوژی، اعتماد به‌کار دستگاه را به‌وجود آورد. اعتماد غالباً برپایهٔ تعداد ساعت کاری تعیین می‌شود که در پایان آن احتمال وقوع حادثه‌ای می‌رود. بررسیهایی که برای دستیابی به این اعتماد انجام گرفت و هنوز هم انجام می‌گیرد، بی‌شمار است. چند مثال ساده می‌آوریم. یک مرکز تلفن الکترونیکی، میلیونها جزء دارد؛ برای یک آزمایش فضایی، اجزای آن باز هم بیشتر است و به سخن دیگر، خطرات آن هم وحشتناکتر. چنانچه یکی از اجزا معیوب باشد، کل دستگاه قابل اعتماد نیست. در کابلهای تلفنهای زیردریایی، که از سال ۱۹۵۰ به‌خدمت گرفته شده‌اند فزونسازهای متعددی کار گذاشته شده‌است. چنان‌چه مجهز به لامپهای الکترونیکی باشند، این لامپها لااقل باید ده سال دوام کنند، نه اینکه در فواصل زمانی کوتاه، ناگزیر کابلها را بیرون آورند. در مواردی از کارهای فضایی، مثل ماهواره‌های زمینی نیز، دوامی برابر صد هزار ساعت حرکت، بیش از ۱۱ سال برای آنها در نظر می‌گیرند. استفاده از ترانزیستورها حل این مشکلات را آسان کرده است، گرچه احتمال برخورد با خطر، بیش از اینهاست.

مشکل همهمه: مشکل دیگری که با طولانیتر شدن مسیر سفرهای فضایی با توانهای بسیار کم، اهمیت روزافزونی یافته است، مسأله وجود همهمه درگیرنده دربرابر شدت بسیار ضعیف شدهٔ علامتی است که باید گرفته شود. مثلاً، انرژی علامت رادار که پس از بازتاب توسط زهره به زمین برمی‌گردد، برابر تابع توان چهارم فاصله ضعیف می‌شود. بدین‌ترتیب، حتی در نبودن علامت هم، همیشه چیزی در خروجی گیرنده خودنمایی می‌کند. این همهمهٔ گرمایی است که از حرکت الکترونها در رساناها و نیز بر اثر تشعشعی از نوع «سیه‌جسم» آنچه که در اطراف آنتن است پدید می‌آید. دانشمندان الکترونیک باید با دقت بسیار زیاد علل گوناگون همهمهٔ رادیوالکتریکی را برای کاستن شدت آن، مورد بررسی قرار دهند.

نقاط مختلف مدارها و آنتنها منبع همهمه هستند. گفتیم که ترانزیستورها و لامپهای الکترونی نیز آن را تولید می‌کنند. وانگهی گسیل الکترونیکی کاتد، به شکل ذره‌ای است. برای بیان همهمه از مفهوم دمای مطلق بهره‌گیری، و برحسب تعداد کلوین شمارش می‌شود. برای کاستن از همهمهٔ گرمایی، سردکردن مدارهای مؤثر را مطرح کردند. بدیهی است که تنها می‌توان آن را برای اجزای بسیار مهم موجود در ورودی گیرنده به‌کاربرد. بنابراین، در ایستگاههای بسیار بزرگ «زمینی» ارتباطات فضایی، فزونساز ورودی گیرنده، در دمای هلیم مایع کار می‌کند. در کارهای روزمره، به این دما عنایتی ندارند، بلکه به ترکیب و نوع ساخت قطعات گوناگون توجه می‌کنند.

دربارهٔ انرژی همهمهٔ دمایی که در آنتن جمع می‌شود و مربوط به موج سانتیمتری یا میلیمتری است، باید مواظب بود که زاویهٔ فعال آنتن بخش بزرگی از زمین اطراف را نپوشانده باشد.

به فزونسازی ورودی ایستگاههای گیرنده توسط ارتباط فضایی، اشاره می‌شود. این فزونسازها از نوع پارامتری یا میزری[۱] هستند که برپایهٔ روشهای بسیار خاصی عمل می‌کنند. در فزونسازهای پارامتری، جسمی که رآکتانس غیر خطی یا متناسب با ولتاژ اعمال شده دارد ـ که معمولاً یک دیود با ظرفیت متغیر است ـ تحت تأثیر یک میدان جریان متناوب به‌اصطلاح پمپ با بسامدی متفاوت از بسامد علامت وارد شده قرار می‌گیرد. بدین‌ترتیب، نوعی علامت خروجی فزون‌یافته به‌دست می‌آید که بسامد آن ممکن است با بسامد علامت، براساس جمع یا تفریق دو بسامد مؤثر، متفاوت باشد. چنانچه بسامد علامت بسیار بالا، بیشتر از دو گیگاهرتس باشد معمولاً مونتاژی استفاده می‌شود که به‌عنوان یک مقاومت منفی عمل می‌کند و بسامد خروجی آن همان بسامد ورودی است. با این روش می‌توان همهمه را فوق‌العاده پایین آورد. فزونسازهای پارامتری در دمای معمولی کار می‌کنند.

---

۱. میزری که توان میزر دیگر را افزایش می‌دهد. ـ م.

میزر: در میزرها یا Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation که در سال ۱۹۵۲ توسط آقایان چارلز تاونز و همکاران وی، و نیز توسط آقایان باسوف[1] و پروخوروف[2] (هرسه جایزهٔ نوبل سال ۱۹۶۴ در فیزیک را گرفتند) پایه‌گذاری شد، یک پدیدهٔ کوانتایی اساس کار است. در نخستین میزر از جهش مولکولهای آمونیاک، متمرکز و جدا شده توسط یک عدسی طویل الکتروستاتیکی استفاده شده‌است که در نیتروژن مایع خنک می‌شود و سپس به طرف سوراخ یک کاواک بازآوا به‌شکل لوله برده می‌شود، منظور از جدا سازی این است که در کاواک، صرفاً مولکولهایی تمرکز یابند که در حالتی بالاتر از برگشت کردن باشند و به کاواک برگردند. در محور این کاواک، موجی انتشار می‌یابد که یک جریان خارجی آن را تولید کرده است، بنابراین، بسامد آن برابر بسامد خطوط طیف مولکولهاست. چنانچه این برابری واقعی باشد، مقدار انرژی که مولکولها در جریان تغییر حالت از دست می‌دهند، باعث فزونسازی، و توان خروجی از توان ورودی بیشتر می‌شود.

چنانچه مولکولها جدا نشوند، مقدار جذب با گسیل تحریک شده برابری خواهد کرد و چیزی تولید نخواهد شد. در بالاتر از یک مقدار بحرانی شمار مولکولهای فعالی که وارد کاواک می‌شوند، نوسانها می‌توانند حتی با نبودن جریان ورودی، پایدار بمانند. این نوع میزر به‌عنوان استانده بسامد به‌کار گرفته شده‌است.

اصل فزونسازی توسط گسیل تحریک شده، به اجسام دیگری، بویژه جامد، بسط یافته است. در این مورد از سه تراز انرژی استفاده می‌شود. تزاحم اتمها بین دو تا از این ترازها تحت تأثیر میدان متناوبی با بسامدی متناسب با تفاوت انرژی با تراز سوم است. این اصل پمپاژ نوری (دمش اپتیکی) است که آقای آلفرد کستلر در سال ۱۹۵۰ آن را بیان داشت و در سال ۱۹۶۶ بدین مناسبت جایزهٔ نوبل فیزیک را دریافت کرد. واژهٔ نوری بدین جهت به‌کار رفته است که، همان‌طورکه خواهیم دید، حتی در رشته هیپرفرکانسها، بسامد پمپاژ معمولاً در محدودهٔ نوری است.

فزونسازهای کوانتایی این امتیاز عمده را دارند که به‌هیچ همهمهٔ ویژه‌ای امکان ورود جریانهای فزون‌یافته را نمی‌دهند؛ بنابراین، برای جریانهای بسیار ضعیف رادار، اخترشناسی رادیویی و ایستگاههای فضایی غنیمت بزرگی هستند. اما پیچیدگی آنها بویژه به‌علت لزوم نگهداری آنها در دماهای بسیار پایین، چهارکلوین، بسیار جدی است و نمی‌توانند جز بسامدی که براساس نوع جسم برگزیده شده تحمیل شده‌است، بسامد دیگری را فزونسازی کنند.

---

1. Basov 2. Prokhorov

لیزر: اصل میزر در سال ۱۹۵۸ توسط تاونز از بخش هیپرفرکانس، مایکروویو به بخش نوری Light انتقال یافت و لیزر نامیده شد. این هم نوعی انتقال بین دو تراز انرژی است که یک موج خارجی دارای بسامد مناسب، در اثر پمپاژ نوری آن را ایجاد می‌کند. نتیجهٔ این انتقال، تابشی دقیقاً تکرنگ و همگیر (همدوس) است. اساس این سیستم همانا یک کاواک همنواگر نوری است، تداخل‌سنج پرو- فابری[1] دیواره‌های نیم‌باز تابنده‌ای دارد که دقیقاً موازی یکدیگر و پرداخت شده هستند. در لیزرهای جامد بویژه از بلورهای یاقوت استفاده می‌شود که سطوح پرداخت شدهٔ آن نوعی تداخل‌سنج است.

پمپاژ نوری توسط یک لامپ تخلیهٔ گازی محیط بر کاواک پدید می‌آید و توسط ضربه‌های بسیار کوتاه، شروع می‌شود. نوری که صادر شده انرژی چشمگیری دارد که با قانون ژول محاسبه می‌شود و توان لحظه‌ای آن بسیار بیشتر از مگاوات است. حتی از مدلی صحبت شده‌است که ۳۰۰۰ ژول در سه ns (نانوسکوند= ۹-۱۰ ثانیه) می‌دهد که توان لحظه‌ای آن برابر ۱۰۰۰۰۰ مگاوات است. لیزرهای گازی از مخلوطهایی، مثلاً هلیم- نئون استفاده می‌کنند. تغییر سمت جریان تزاحم بین ترازها بر اثر انتقال انرژی یک گاز به دیگری تحت تأثیر یک تخلیهٔ الکتریکی انجام می‌گیرد که در اثر یک میدان خارجی پدید می‌آید.

لیزرها غالباً مولد هستند، اما بعضی از آنها فزونساز هم می‌باشند. با لیزرهای اخیر است که توانهای بسیار بالا، بویژه در رژیم پیوستار، و نه در اثر ضربه، به‌دست می‌آیند.

این توانها ممکن است چندین کیلووات باشند. تأثیر دسته اشعهٔ نوری بسیار شدید و متمرکز در زمینه گرمایی و نیز مکانیکی، طبعاً چشمگیر است از آن برای تراشکاری یا ایجاد پدیده‌هایی در پلاسماها استفاده کرده‌اند. با لیزرها، با تأثیرگذاری بر بعضی بلورها، ایجاد هارمونیکهایی از بسامد نوری، مثلاً برای تولید تشعشع مرئی که طول موج آن نیمی از طول تشعشع زیر قرمز باشد، ممکن می‌شود؛ و نیز با ترکیب دسته اشعه‌های دولیزر با بسامدهای متفاوت، ضربه‌هایی ایجاد می‌شود که بسامد آنها در ردیف دسیمتری (هیپرفرکانس) است.

استانداردهای اتمی: پدیده‌های کوانتومی، دستهٔ دیگری از دستگاههای فوق‌العاده مهم را به‌وجود آوردند که هر روز ما شاهد پیشرفت آنها هستیم: استانده‌های اتمی بسامد و زمان. حدود سال ۱۹۴۰ بود که آقایان کوش[2] و رابی[3] اساس آنها را نشان دادند: کاربرد خطوط بسیار ظریف طیف بعضی اجسام، مثلاً سزیم، در محدودهٔ هرتسی برای تعیین بسیار دقیق بسامدی که یک نوسانگر اندازه‌گیری را بتوان با آن ساخت.

1. Pérot-Fabry 2. Kusch 3. Rabi

نخستین ساخت عملی آن در ۱۹۴۸ توسط هـ. لاینز[1] در دفترملی استانده‌ها (امریکا) بود که در آن از جذبی که در یک موجبر طویل توسط آمونیاک می‌شد، استفاده کرده بودند. این همنوایی یک نوسانگر کوارتزی را فعال می‌سازد و، بدین‌ترتیب، نوعی ساعت تشکیل می‌شود. همنوایی مولکول آمونیاک با برگشت از چهار ضلعی (۲۳ ۸۷۰ ۱۲۹ kHz) در سال ۱۹۳۴ بوسیلهٔ آقایان کلیتون[2] و ویلیامز[3] نشان داده شد. بعدها از این همنوایی آقایان چارلزتاونز و گوردون در نخستین میزر خود در ۱۹۵۲ استفاده کردند. این روش که مدت چندین سال در اوج بود، به‌علت دشواری حذف بعضی اثرات همهمه که در بسامد خروجی ایجاد اختلال می‌کردند، کنار گذاشته شد.

آقای کوش با کمک لاینز و شروود، که همیشه در دفتر استاندارد کار می‌کردند، در ۱۹۵۱ نخستین همنواگر با پرش اتمی سزیم را براساس ساختار یکی از خطوط بسیار ظریف آن در یک میدان مغناطیسی ساختند. وی از روش رمزی[4] در این کار استفاده کرد، که در آن، اتمها پیاپی از دو کاواک همنواگر، که جریانی با بسامد دسیمتری آنها را تحریک کرده است، می‌گذرند. بسامدی که بدین‌ترتیب ایجاد می‌شود ۹۱۹۲ ۶۳۱ ۷۷۰ هرتس است. جداسازی این حالتها در یک میدان مغناطیسی ناهمگن انجام می‌گیرد. این اتمها به‌طور متفاوت متناسب با تراز انرژی خود منحرف می‌شوند و تنها آنهایی که در تراز بالاتری هستند وارد کاواکهای همنواگری می‌شوند که با این بسامد همنوایی تحریک شده‌اند؛ بسامدی که انتقال به تراز پایینتر را برمی‌انگیزد. اتمهایی که متحمل این جریان نمی‌شوند به آشکارسازی برخورد می‌کنند که نشان می‌دهد که آنها از مطابقت درست بسیار دور هستند. احتیاطهای بسیار فراوانی باید مراعات شود تا این بسامد به‌طور دقیق ایجاد شود؛ و نیز تمام اختلالهای ممکن باید به‌حساب آورده شود. بدین‌ترتیب، یک استاندارد واقعی به‌دست می‌آید. آقایان اسن و پاری[5] نخستین کسانی بودند که در ۱۹۵۵ در لابراتوار ملی فیزیک بریتانیا بمنظور مقایسه با ساعتهای نجومی چنین دستگاهی را ساختند.

آنان باکمک مارکوویتس[6]، از رصدخانهٔ دریایی واشینگتن، با مقایسهٔ رادیو از فراز اقیانوس اطلس مقدار بسامد مزبور را به‌دست آوردند. بعدها ادارهٔ استاندارهٔ امریکا و لابراتوار سویسی تحقیقات ساعت‌سازی، استانده‌های بیش از پیش کاملی ساختند. نخستین آنها، اتومیشرون[7] بود که کمپانی ناسیونال در سال ۱۹۵۶ آن را ساخت. اکنون اکثریت بزرگ استانده‌های صنعتی سزیمی، ساخت شرکت هیولیت ـ پاکارد[8] هستند. رصدخانه‌ها و لابراتوارهای بسیار زیادی با آن مجهز شده‌اند. در فرانسه، مرکز ملی پژوهشهای ارتباط از دور، (CNET) از سال ۱۹۵۷ مجهز به استانده‌هایی از این

1. H.Lyons 2. Cleeton 3. Williams 4. Ramsey 5. Parry 6. Markowitz
7. Atomichron 8. Hewlett-Packard

نوع می‌باشد. رصدخانهٔ پاریس پس از اینکه چندی از استانده‌های CNET استفاده کرد، همراه با رصدخانه‌های دیگر به استاندهٔ مزبور مجهز شد. همهٔ این مجموعه استانده‌ها در استقرار مقیاس زمان اتمی فرانسه کمک کرده‌اند.

لابراتوار در ساعتهای اتمی که CNRS آن در ۱۹۵۸ ایجاد کرد و آلفردکستلر مدیر آن شد انواع استانده‌های گوناگونی با سزیم و هیدروژن ساخت، که دربارهٔ آنها سخن خواهیم گفت.

پیشرفت استانداردهای سزیمی چنان بود که در همان سال ۱۹۵۷ به پیشنهاد انجمن اخترشناسی بین‌المللی که در ۱۹۵۵ تأسیس شده بود، کمیتهٔ بین‌المللی اوزان و مقادیر، جهت تعریف ثانیه، یک کمیتهٔ مشورتی تشکیل داد. پس از مطالعات فراوان، تعریف تازه‌ای از واحد زمان توسط کنفرانس عمومی اوزان و مقادیر در سال ۱۹۶۷ بدین شرح تصویب شد: «ثانیه مدتی برابر ۹ ۱۹۲ ۶۳۱ ۷۷۰ دورهٔ تشعشع مربوط به انتقال بین دو تراز بسیار ظریف از حالت پایهٔ اتم سزیم ۱۳۳ می‌باشد.»

این تعریف عادت هزاران ساله را بکلی به‌هم ریخت. از این پس، یکای زمان دیگر هیچ ارتباطی به‌حرکت ستارگان نداشت، بلکه یک ثابت فیزیکی کاملاً مشخص آن را معین می‌کرد.

مقایسه‌های پیوسته بین استانده‌های نقاط مختلف جهان، از نظر مقایسهٔ فاز پخش رادیوهای ویژه، یا توسط حمل و نقل ساعتهای اتمی که در حال کار هستند نشان می‌دهند که این انطباق جهانی در حدود 10^{-13} انجام گرفته است. حساسیت اندازه‌ها که به 10^{-14} رسیده است آثار نسبیت را آشکار می‌سازد.

همنواگریهای اتمی دیگری، بویژه در همنوایی اتم روبیدیم، توسط پمپاژ نوری بوسیلهٔ آقایان آردیتی[1] و کارور[2] در ۱۹۵۷ راه‌اندازی شدند. بدین‌ترتیب، همنواگرهایی ساخته شد که بسیار ساده و با دوام بودند، اما بسامد آنها با این مقیاس، به‌طور کامل جور نبود. آقای رمزی در سال ۱۹۶۰ میزری با هیدروژن اتمی ساخت. در این مورد جداسازی حالت، مغناطیسی است. یک بالون سیلیسی که اتمها وارد آن می‌شوند در یک کاواک همنواگر گذارده می‌شود؛ اتمها پیش از آنکه از بالون که از درون آستری از تفلون دارد خارج شوند با جدار آن حدود ۱۰۰۰۰۰ بار برخورد می‌کنند و، بدین‌ترتیب، مدت زیادی تحت تأثیر یک میدان با بسامد زیاد می‌مانند.

این «انبارشدن» سبب نوعی همنواگری بسیار شدید است. بسامد پدید آمده برابر ۱۴۲۰۴۰۵۷۵۲ هرتس، یعنی برابر همان بسامدی است که در اخترشناسی رادیویی در هیدروژن فضای بین ستارگان وجود دارد. ثبات آن بسیار زیاد است. این استانده روزی استاندهٔ سزیم را کنار خواهد زد. این استانده را آقای واریان در ۱۹۶۴ به‌طور صنعتی تولید کرده است.

1. Arditi 2. Carver

دانشمندان با در اختیار داشتن همزمان استانده بسامد رادیو الکتریکی بسیار دقیق و لیزر که در بخش نوری کار می‌کند در اندیشهٔ مرتبط کردن هردو و تولید آن قسمت از تابشهای مرئی شدند که بسامد آنها توسط یک استانده ایجاد یا تصحیح شود. این بررسی، بسیار اهمیت دارد زیرا ارتباط مستقیم یکای طول را، که عملاً برپایهٔ طول موج یک خط طیفی کریپتون تعریف می‌شود (رجوع کنید به جلد سوم، صفحهٔ ۳۲۹)، با یکای زمان ممکن می‌سازد. این کار اینک درکشورهای متعددی، نخست در امریکا در جریان است و به پیش می‌رود. روشی که رایج است به‌کارگرفتن مراحل بینابینی است. در مرحلهٔ نخست، بسامد یک لیزر در اثر جذب توسط ظرفی محتوی گاز مولکولی در همان کاواک محتوی جسم تابنده، پایدار می‌شود؛ مثلاً، جذب متان در یک لیزر هلیمی ـ نئونی. تا کنون توانسته‌اند پایداری آن را در یک بیستم دقیقه، تا 3×10^{-14} ثابت کنند. برای اینکه بعداً بسامدی را که بدین‌ترتیب پایدار شده‌است ۸۸٫۸۸ ترا هرتس (10^{12} هرتس) با بسامد ۷۴ گیگاهرتسی کلیسترون مرتبط، و این یکی را با بسامد سزیم، ۹٫۱۹ گیگاهرتس مقایسه کنیم از به‌اصطلاح توده‌ای از لیزرهای بینابینی ـ گازکربنیک، بخار آب، اسید سیانیدریک ـ استفاده می‌کنیم. با چنین آزمایشهایی توانستند مقدار سرعت نور را در خلأ برابر ۱ ± ۴۵۸ ۷۹۲ ۲۹۹ متر در ثانیه به‌دست آورند که صدبار دقیق‌تر از پیش است.

کاربردهای اساسی الکترونیک

ارتباط از دور: رادیو الکتریسیته ریشه در تلگراف بی‌سیم ـ که بعدها رادیو تلگراف نامیده شد ـ دارد که گسیل علامتها به روش همه یا هیچ برپایهٔ رمزی همچون کد مورس است. نخست، رله‌ای یک ثبات کاملاً کلاسیک مورس را فعال می‌ساخت، سپس گیرندهٔ صوتی جانشین آن شد. زمانی‌که ارتباط رادیویی پیشرفت یافت، اپراتورها توانستند متنی را که می‌شنیدند مستقیماً با ماشین تحریر بزنند. سپس به رله‌ها و به نگارش، (اما این‌بار با موج‌ساز) روی آوردند. در این فاصله، سرعت گسیل بالاتر از حد توان اپراتور شد. نخستین کاربرد انتقال خودکار با سرعت زیاد توسط مراکز آلمانی در سال ۱۹۱۷ بمنظور محرمانه ماندن انجام گرفت. اپراتورهای فرانسه تا زمانی‌که طرح ثبت تلگرافها روی دیسک و خواندن آرام آن، اجرا نشده بود چیزی جز همهمه نمی‌شنیدند.

حدود سال ۱۹۲۰ آقایان آبراهام و پلانیول[1] بررسی انتقال مستقیم متنهای چاپی را شروع کردند ـ کاری که از تلگرافهای چاپی معمولی الهام شده بود؛ اما خطر خطاهای ناشی از همهمه یا فقدان علامت، جدی بود. می‌بایست از روش اطاله کلام، مثلاً از سیستم بودو ـ وردن[2] سال ۱۹۲۴

1. Planiol 2. Baudot-Verdan

استفاده کنند. بعدها حتی سیستمهایی برای تصحیح غلطها به‌کار گرفته شد. تله تایپ با سیم به بی‌سیم تبدیل شد.

تا زمانی‌که گسیل علامتها با امواج ناپایدار بود، بحث رادیو تلفن مطرح نمی‌شد؛ با این همه، کوششهایی پیش از ۱۹۰۵ با بسامدهای بسیار زیاد جرقه‌ها به‌عمل آمد، اما همین‌که مولدهای امواج پایدار ساخته شدند ـ نخست با قوسها و تناوبگرها و بعد با لامپهای الکترونی ـ توانستند امواج را تحمیل کنند و بدین‌ترتیب گفتار و صدا انتقال داده شدند. آقایان ویکتورکولن و موریس‌ژانس در فرانسه در سال ۱۹۰۸ توانستند با قوس از بالای برج ایفل گفتاری را به ناحیهٔ ملون گسیل دارند، و بعد تا حدود ۱۰۰ کیلومتر فرستاده شد. آقای وانی و دیگران به نتایج مشابهی دست یافتند. آقای لی‌دفارست با استفاده از این لامپهای الکترونی در ۱۹۱۰ آزمایشهای متعددی انجام داد و در ۱۹۱۵ به‌فرستادن پیامی از فراز اقیانوس اطلس دست زد که در برج ایفل آن را دریافت داشتند. این فرستندهٔ ۲۵۰ لامپ، اتصال موازی داشت. از آن زمان به بعد، روابط تلفن بی‌سیم از یک نقطه‌به‌نقطهٔ دیگر بسرعت به‌پیش رفت، و شبکهٔ جهانی تلفن دارای تعداد بسیار زیادی قسمتهای رادیو الکتریک شد. اکنون روابط ترا اقیانوسی با موجهای ده‌متری انجام می‌گیرند که شرایط پخش زمان را مراعات می‌کنند. نخستین ارتباط مردمی امریکا و انگلستان در سال ۱۹۲۷ از راه دلورین[1] و ریوز[2] با ایستگاههای بزرگ و موجهای طویل ۵۲۰۰ متری که به‌شکل «باند جانبی یگانه» تحمیل شده بودند انجام گرفت. برای صرفه‌جویی در باند بسامد، در واقع از این سیستم استفاده می‌کنند، زیرا در آن یکی از دو باند جانبی که نسبت به بسامد حامل، قرینه است گسیل نمی‌شود. دستگاه گیرنده باید طبعاً با این نوع گسیل مطابق باشد.

در اواخر دهۀ ۳۰ با داشتن بسامدهای دسیمتری، که موجهایشان در خط مستقیم و در دسته‌های فشرده پخش می‌شوند، سیستمی برای ارتباط زمینی پدید آمد که از «دسته موجهای هرتسی» تشکیل می‌شد، از آن برای دو تا کردن کابلهای تلفن استفاده شد. رله‌هایی پیاپی در ارتفاعات و اغلب در جاهایی که در گذشته پستهای تلگراف نوری کلودشاپ بودند، گذاشته شد. آنتنهای بسیار جهتدار، انرژی را متمرکز و از همهمه جلوگیری می‌کردند. مزیت این روش، گسیل شمار فراوانی ارتباطات بر روی یک دسته امواج و پرهیز از کار پرخرج گذاشتن کابلهای زیرزمینی، بویژه در نواحی صعب‌العبور مثل کوهستانهاست. در مواردی، کاربرد این نوع پخش در تروپوسفر (گشتکُره)، رسیدن امواج به آنسوی افق را نیز ممکن می‌سازد. این روش برای ممالک بیابانی یا مناطق جنگلهای استوایی، غنیمتی است.

1. Deloraine 2. Reeves

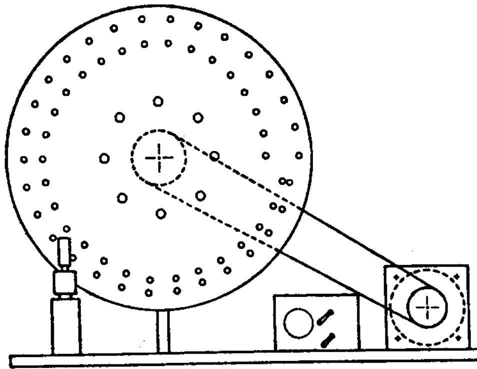
در سال ۱۹۶۵ با رله‌های رادیو تلفنی تازه‌ای برخورد می‌کنیم، که مرهون ماهواره‌های مصنوعی هستند. رابطهٔ اروپا ـ امریکا توسط تله‌استار، این روش بسیار جالب را به مردم عادی شناسانید. این، ماهواره‌ای در ارتفاع کم است که خدمات ساعتی انجام می‌دهد. بعدها ماهواره‌هایی از نوع ایستگاه زمینی پرتاب شدند که دربارهٔ آنها سخن خواهیم گفت.

انتقال تصاویر: از سالها پیش پژوهشگران رویای انتقال تصاویر را در سرداشتند. در آغاز سخن بر سر تصویر ثابت و در وهلهٔ اول، نقشه‌ها بود. پس از پیش‌نمونه‌های گوناگونی، سیستم «پان تلگراف» جووانی کاسلی در سدهٔ نوزدهم در سال ۱۹۰۹ منجر به‌روشهای فوتوتلگرافی ابداعی آقایان بلن و کورن شد. مایهٔ این فکر همانا تبدیل تصویر دو بعدی به عناصری از تصویر یک بعدی است، که پیاپی گسیل می‌شوند. تصویر توسط خطوط بسیار نزدیک به‌هم، برای اینکه در بازسازی دیده نشوند، پدید می‌آید. پیدایش تصویر در فرستنده یا توسط استوانهٔ گردانی است که به‌طور افقی روییده می‌شود، یا با نوعی روبش زیگزاگی که روی یک برگ انجام می‌گردد؛ بازسازی آن درگیرنده با گرفتن آن در فرستنده همزمان است. در همهٔ این روشها یک اتصال سیمی وجود دارد، بلنوگراف در فرانسه در سال ۱۹۲۵ با خطوط PTT عملی شد.

انتقال رادیویی، حدود ۱۹۲۱ انجام گرفت و بسرعت به پیشرفتهای چشمگیری رسید. اکنون فاکسیمیل (پست تصویری) برای تصاویر خطی و فتوتلگراف به‌کیفیت و سهولت کاربرد کامل دست یافته‌اند.

همینکه رشتهٔ عکاسی امکان ثبت و بازسازی تصویرهای متحرک را، حتی پیش ازکار سینمایی لومییر، نوید داد درپی انتقال الکتریکی این تصاویر برآمدند. نام نخستین دستگاه برای این کار، که توسط سنلک پیشنهاد، اما ساخته نشد téléphote بود؛ اما اصطلاح تلویزیون برای آن بزودی رایج شد. نخستین پیش‌گامان آن، سنلک در ۱۸۸۱ و دیگران به خواص نورابرقی چشم دوخته بودند که اینرسی، مانع کار واقعی آن بود. در بخش نوری دستگاه گیرنده نیز همین اشکال وجود داشت. مشکل تجزیهٔ نقطه‌به‌نقطهٔ تصویر، در سطور افقی پیاپی، با در نظر گرفتن وسایل مکانیکی زمان، دشوار، بود. آقای پل‌نیپکو در ۱۸۸۴ راه‌حل مکانیکی بسیار رضایتبخشی پیشنهاد کرد که مدتها همراه با دیسک اختراعی وی، که دارای روزنهایی در طول یک مارپیچ بود، به‌کار گرفته می‌شد (شکل ۶۲). بعدها، این روزنها توسط مارسل بریوون مجهز به‌عدسیهایی شدند.

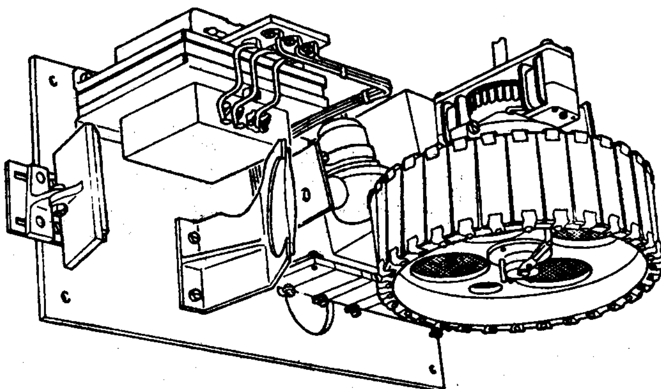
حدود سال ۱۸۹۸، آقای لازاروایلر نوعی تجزیه‌گر را پیشنهاد کرد که از یک استوانه با محور عمودی تشکیل می‌شد که سطح آن را با آینه‌های مسطح، در میلهای مختلف می‌پوشاندند



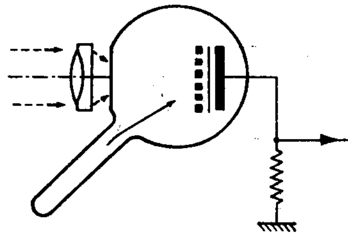
شکل ۶۲.دیسک نیپکو برای تجزیهٔ تصویر.

(شکل ۶۳).

سلولهای نورابرق و لامپهای نئون، نتایج محسوسی داشتند، که در سالهای ۱۹۲۴ ـ ۱۹۲۷ با سی خط، و بعد در اوایل سالهای ۳۰ با ۱۲۰ خط کار می‌کردند. اما تنها راه جست‌وجویی که می‌توانست به‌نتایج خوبی برسد، در کنار گذاشتن روشهای مکانیکی و روی آوردن به‌روشهای



شکل ۶۳.استوانهٔ عمودی وایلر، با آینه‌های تجزیه کننده.

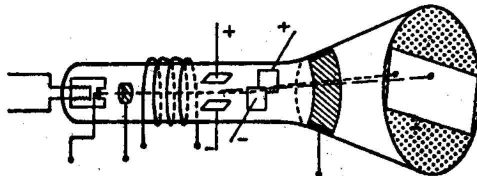


شکل ۶۴. اصول ساخت ایکونوسکوپ زووریکین (Zworikin) تصویر بوسیلهٔ عدسی جسمی دوربین، روی موزائیکی از دانه‌های حساس به نور (نقطه چین خاکستری) تشکیل شده است که دسته‌ای از الکترونهای خارج شده از تفنگی که در پایین سمت چپ لامپ باز می‌شوند آن را می‌روبند. این موزائیک از خازنی با صفحه‌ای مجاور آن تشکیل شده است که ورقه‌ای از میکای عایق بین آن دو گذاشته شده‌است. این تشکیلات در مقاومتی که علامتی به‌سوی شبکهٔ یک تریود فزونساز ویدئو گسیل می‌دارد، تخلیه می‌شود.

الکترونیکی بود. آقای روزینگ نخستین کسی بود که در ۱۹۰۷ در دستگاه گیرنده، برای روبش از دسته اشعهٔ الکترونی در لامپی مشابه لامپ نوسان‌نگار براون استفاده کرد.

برای رفع نیازمندیهای گسیل، پس از کارهای کمبل ـ سوینتن[1] در ۱۹۰۸، آقای ولادیمیر زووریکین[2] در ۱۹۳۱ نخستین ایکونوسکوپ را ساخت (شکل ۶۴).

ایکونوسکوپ با همراهی یک لامپ گیرنده (شکل ۶۵)، ساخت تلویزیون بسیار واضح را ممکن ساخت. این دو وسیله، تکمیلهای زیادی داشته‌اند: افزایش حساسیت در حدود حساسیت چشم، کم شدن حجم تا قطر چند سانتیمتر، افزایش وضوح تا ۱۵۰۰ خط افقی در تصویر، امانت در



شکل ۶۵. اصول ساخت لامپ کاتدی گیرندهٔ تلویزیونی.

لکهٔ کاتدی به‌طور جانبی و عمودی توسط هریک از خازنها منحرف شده‌است تا روبش صفحهٔ تصویر به‌طور مؤثری انجام گیرد.

1. Swinton 2. V.Zworikin

بازسازی، تصویر، افزایش قطر صفحهٔ تصویر درگیرنده، کاهش عمق لامپ تصویر و غیره. در همین حال مدارهای مورد استفاده و نیز روشهای پخش، بهتر شدند. در واقع، گرچه در نخستین آزمایشهای تلویزیونی باگسیل تعداد کمی نقطهٔ روبیده شده که برای هر تصویر به هزار نمی‌رسید، از خطوط تلفنی استفاده می‌شد، برای وضوح زیاد، دیگر این‌طور نبود. در واقع می‌بایست در این حالت، نقاط بسیار زیادی، حدود ۸۰۰ هزار، برای ۸۱۹ خط ORTF: Office de radiodiffunion-télevision française و ۵۰۰ هزار برای ۶۲۵ خط در ۱/۲۵ ثانیه گسیل شوند؛ بنابراین، به باندی از بسامدهای تحمیل، باند ویدئو نیاز است که بسامد بسیار بالایی حدود ۸ تا ۱۲ مگاهرتس دارد. برای این کار، تنها باید از کابلهای هم محور ویژه، یا از آن هم بهتر، از بسامدهای دسیمتری رادیو سود گرفت. روشن است که برای علامتهای بیشتر تصویر، برای تأمین هم‌زمانی تجزیه در فرستنده با گیرنده و نیز انطباق صدا با تصویر، علامتهای ویژه‌ای باید فرستاده شوند.

مراحل ساخت تلویزیون، بازتاب ساده‌ای از تحول پیچیده‌تر و مرتبط به یکدیگر به‌طور کلی پیدایش رادیو است. در پایان سدهٔ نوزدهم شاهد شکوفایی افکاری بودیم که به‌دنبال استفاده از پدیده‌های نسبتاً ساده به ذهنها خطور کردند.

راه‌حل مکانیکی را آقای نیپکو در همان اوایل، پیشنهاد کرد اما پس از گذشت سالها یعنی زمانی از آن استفاده شد؛ که وسایل کاملاً ضروری آن در دسترس بود. در همهٔ کشورها ـ بریتانیای‌کبیر توسط جان‌بیرد[1]، در ۱۹۲۳ که روش وی در سالهای ۱۹۳۰ ـ ۱۹۳۲ صنعتی شد، ممالک متحده امریکا توسط گروههای گوناگون صنعتی، بویژه لابراتوارهای بل، در فرانسه توسط رنه‌بارتلمی در لابراتوارهای Compagnie des Compteurs، در آلمان توسط اوگوست کارولوس[2] ـ کارهایی انجام گرفت.

این مرحله که با نتایج خوبی در کشورهای گوناگون به‌پایان رسید، انگیزه‌ای شد تا تصاویر متحرک را توسط رادیوگسیل دارند. تلویزیون در این زمان توجه بسیاری از شرکتهای بزرگ صنعتی را به خود جلب کرده بود. بنابراین، زمانی‌که وسایل تازه با لامپهای الکترونی و سلولهای نورابرقی، در آستانهٔ جنگ جهانی دوم، راه‌حل قطعی را به‌دست دادند، آراء مردم و مراکز مسؤول برای تأمین موفقیت آن آمادگی داشتند.

پخش رادیویی: پخشهای همگانی برای رسانیدن اخبار، نظرات مردم یا دعوت مثلاً داوطلبان دریانوردی، به‌طور مستقل از ارتباط از دور، در هر نقطه‌ای استفاده‌کنندگان را یا با زمین یا با دریا، یا با هوا، در همان آغاز کار تلگراف بی‌سیم مربوط می‌کرد. زمانی‌که تلفن بی‌سیم ساخته شد،

1. J.Baird 2. A.Karolus

در اندیشهٔ پخش سخنان و موزیک برای شنوندگان غیر حرفه‌ای به‌هدف اطلاع‌رسانی، فرهنگ و سرگرمی شدند. نخستین آزمایشهای پخش رادیویی در سال ۱۹۲۰ و در امریکا بود. در فرانسه، ژنرال فریه، پخشهای مرتبی در ۱۹۲۱ از برج ایفل برقرار ساخت. کمی بعد شرکت رادیو الکتریک فرانسه، فرستندهٔ Radiola و دایرهٔ پستهای یک ایستگاه کوچک با طول موج صدمتری ایجاد کرد.

هر دو فرستندهٔ اولیه با امواج کیلومتری کار کردند. پخش رادیویی در همهٔ کشورها سریعاً گسترش یافت. تودهٔ مردم علاقهٔ شدیدی به این پدیدهٔ نوین نشان دادند. ایستگاههای فرستنده متعدد و قدرتمندتر شدند و دستگاههای گیرنده به‌طور روزافزونی وفادارتر و کار با آنها آسانتر شد؛ جنبهٔ فنی خود را برای تبدیل به یک دستگاه معمولی از دست دادند. متعدد شدن فرستنده‌های پرقدرت، موانع جدی دربرابر انتشار امواج ایجاد کردند، و در ۱۹۳۱ کنفرانس بین‌المللی لوسرن با تنظیم یک نقشهٔ توزیع بسامدهای موجود بین مراکز مختلف، برای سامان دادن به‌آن اقدام کرد.

نقشه‌های متعدد و پی‌درپی: پراگ، استکهلم، مونترو[1] و غیره ... اساساً یک فاصلهٔ KHz ۹ بین ایستگاهها گذاشتند و برای استفاده از یک بسامد بوسیله چند ایستگاه، ثبات آنها و غیره آیین‌نامه‌هایی تدوین کردند. نقشه‌های ملی برای توزیع بهتر فرستنده‌ها درکشور تنظیم شدند. مثلاً در فرانسه، نقشه فریه با اینکه توسط خود وی مورد انتقاد قرار گرفت، در ۱۹۳۱ نخستین شبکهٔ پخش رادیویی فرانسه را معین کرد؛ چند ایستگاه خصوصی به این شبکهٔ دولتی پیوستند.

پخش عموماً با موجهای صدمتری ۵۳۰ تا ۱۸۰۰ کیلوهرتس، و تنها در اروپا با موجهای بلند، بسامدهای ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوهرتس انجام می‌گرفت. این بسامدها، گیرندگی منظم در برد قاره‌ای را، حتی در روز، ممکن ساختند. برد بسامدهای اولی، در شب بسیار بیشتر بود؛ اما برای پخش به مقصد کشورهای دوردست، اخبار، تبلیغات فرهنگی یا سیاسی باید از امواج ده‌متری با قدرت زیاد و آنتنهای جهتدار استفاده می‌شد. درحال حاضر همه کشورها به این ترتیب، پخشهایی به زبانهای بیگانه برای خارج دارند. بعضی ازکشورها تعمداً روی پخشهایی که نمی‌پسندند پارازیت می‌اندازند. این کار که در زمان جنگ رسم شده بود، هنوز هم در مواردی وجود دارد.

دربرابر طول موجهای بلند، اکنون تعدادی پخش با موجهای متری ۸۵ تا ۱۰۰ مگاهرتس وجود دارد که با روش تحمیل بسامدی عمل می‌کنند. برد این پخشها را شرایط جغرافیایی محدود می‌کنند، رویت نسبتاً مستقیم کمتر از ۱۰۰ کیلومتر است. پخشهای با تحمیل بسامدی، هدف عمده‌شان داشتن گیرندگی فوق‌العاده خالص، بدون پارازیت، پایدار، و در اثر داشتن ردیف بسیار گستردهٔ بسامدهای گسیلی، «دینامیک» زیادی از شدت ممکن و حداقل اعوجاج را دارند.

1. Montreux

همچنین می‌توانند بدین‌ترتیب پخش را به‌شکل استریو انجام دهند. یک بسامد به‌اصطلاح زیر حامل ویدکی، علامتی را پخش می‌کند که با ترکیب شدن با علامت اصلی، راههای چپ و راست ثبت، یعنی تفاضل و جمع را بازسازی می‌کند. باید به یاد داشت که پخش استریو از سال ۱۸۸۱ توسط کلمان‌آده با تئاتروفون وی با سیم انجام گرفت. پخشهایی که با تحمیل بسامدی انجام می‌گیرند، اساساً بمنظور برنامه‌های دارای کیفیت بالا، بویژه موزیک است. برد کم آنها در گرو تعداد زیاد پخشگر و رله است، اما به‌قدرت کمی نیاز دارند. بدین دلیل، شبکه‌های اولیهٔ آن در آلمان، در فردای جنگ گسترش یافتند، زیرا متفقین، بازسازی ایستگاههای معمولی را منع کرده بودند.

پیشرفت اخیر ترانزیستورها، افزایش فوق‌العادهٔ گیرنده‌های رادیویی، بویژهٔ نوع جیبی آنها را درپی داشت.

اطلاع‌رسانی تصویری: حدود سال ۱۹۳۰ بود که نخستین آزمایشهای تلویزیونی برای مردم، با وجود وضوح بد انجام گرفت. در بریتانیای کبیر، آقای بیرد نخستین گسیلها را از Crystal Palace لندن در ۱۹۲۳ انجام داد. آقایان جنکینز[1] و مور در سال ۱۹۲۴ در امریکا دست به این کارزدند. در فرانسه PTT که در آن زمان مسؤولیت پخش رادیویی را داشت یک کمیسیون مطالعه برای این کار در سال ۱۹۳۲ تشکیل داد. این کمیسیون که در رأس آن آقای کامی گوتون قرار داشت مأمور بود روشهای ممکن را بررسی کند. پخش منظم برنامهٔ تلویزیونی با سیستمی که آقای رنه‌بارتلمی ایجاد کرده بود حدود سال ۱۹۳۸ شروع شد و کمی پیش از درگیری جنگ، یک فرستندهٔ پرقدرت در پایین برج ایفل برپا شد. نوعی کابل هم‌محور بسیار جالب آن را به آنتنی که در نوک برج قرار داشت، وصل می‌کرد.

بعدها، همه کشورها به شبکه‌های پیچیدهٔ تلویزیونی مجهز شدند. چون در تحمیل بسامدی، با داشتن موجهای کوتاه تا چند دسیمتری، برد فرستنده بسیارکم است، لازم بود که ایستگاهها، متعدد و آنتنهای گیرنده، بسیار آزاد باشند. جهتدار بودن آنتنها باید بسیار زیاد باشد زیرا تصاویر پارازیتی زیادی در اثر بازتاب امواج توسط موانع اطراف پدید می‌آید. تلویزیون در مقیاس بسیار زیاد رواج یافته و به یکی از لوازم اساسی زندگی «متمدن» با اثرات روانی فراوان، تبدیل شده‌است.

بویژه، برد کم فرستنده‌ها سبب شده‌است که اکثریت تماشاگران، تنها برنامه‌های کشور خود را می‌توانند ببینند، درحالی‌که رادیو مرزی نمی‌شناسد.

موضوع هدف‌مند بودن اطلاع‌رسانی که در هر روز در یک ساعت معین میلیونها نفر بینندهٔ علاقمند دارد. تودهٔ بزرگی از مردم، اگر نگوییم همه، مسحور آنچه که روی صفحهٔ تلویزیون می‌بینند

1. Jenkins

می‌شوند، مشکل خاص زمان ماست. در تلویزیون احتمالاً با بهترین تأثیر تحول تکنیک، در شکل دادن به زندگی روزمره افراد روی زمین روبه‌رو هستیم. اما این حقیقت که هنوز بیشتر بینندگان تلویزیون بسرعت آن را فراموش می‌کنند ـ یا پس از چندی ماهیت اطلاعی که به‌آنها رسانیده شده‌است تغییر شکل می‌یابد ـ از اهمیت این عامل می‌کاهد. تنها خاطره‌ای که در ذهن آنها می‌ماند معمولاً نام چهره گوینده است.

پخش رنگی: پس از موفقیت فیلمهای رنگی در سینما، برای پخش رنگها در تلویزیون، مطالعاتی صورت گرفت. این کار بسیار پیچیده است زیرا تصاویر را باید در سه‌رنگ پخش کرد و در واقع باید سه پخش با یکدیگر انجام گیرند. این تنگنا، افزایش باند بسامدهای لازم، پیچیدگی وسایل و کاربرد آنها را ناگزیر می‌سازد. برای آسانتر کردن کار، مطالعات وسیعی، مثلاً برپایهٔ طرح آقای والنسی[1] (۱۹۳۷) صورت گرفت، که براساس آن، گسیل تصویر را به‌شکل دقیقاً هندسی به لومینانس (روشنایی)، رنگها و کرومینانس (رنگ‌تابی) تفکیک می‌کنند.

تنها کاری که می‌ماند این است که دستگاه فرستنده، سه‌تصویر با رنگهای اصلی قرمز، سبز و آبی را ضبط کند و لامپ گیرنده باید شامل سه‌سیستم از الکترودهایی باشد که به‌طور انتخابی روی شبکهٔ دانه‌های روشن سه‌رنگ، بدون اینکه اشتباه یا اختلاطی روی دهد عمل کنند. همچنین باید این مجموعه متوافق باشد، یعنی یک دستگاه گیرندهٔ رنگی بتواند سیاه و سفید را هم بگیرد، یا یک گیرندهٔ سیاه و سفید بتواند یک پخش رنگی را بدون رنگ بگیرد. همهٔ این مشکلات برطرف شدند، اما به بهای بررسیهای چشمگیر و مباحثات سیاسی ـ بازرگانی شدید. در واقع این امکان هست که فلان گیرندهٔ رادیو، فلان گسیل را بگیرد، اما این وضع برای پخش تلویزیونی وجود ندارد. نخست، وضوع تصویر از یک شبکه به دیگری تغییر می‌کند: قطع صفحهٔ تصویر (فورمات)، تعداد خطوط، ضرباهنگ تصاویر و غیره. مثلاً در فرانسه، تصاویر زنجیرهٔ نخست در سال ۱۹۴۹ با ۸۱۹ خط واضح می‌شدند، اما زنجیرهٔ دوم (۱۹۶۳) و سوم (۱۹۷۳) با تعداد ۶۲۵ خط، که در بیشتر کشورها رعایت می‌شود. این مسأله برای تلویزیون رنگی، بازهم پیچیده‌تر می‌شود زیرا در اینجا با سیستمهای گوناگونی روبه‌رو هستیم. گسیل عناصر مختلف رنگ‌تابی (کرومینانس) ممکن است به‌شکلهای گوناگونی انجام گیرد: تحمیل دامنه‌ای، تحمیل بسامدی، عناصر مجزا یا مجموع و تفاضل سازاها، گسیل همزمان یا سکانسی و غیره. با در نظر گرفتن اهمیت بازرگانی گزینش این راه‌حلها، شرکتهای بزرگ و دولتها با یکدیگر مقابله می‌کنند. کنفرانسهای بین‌المللی، بدون اینکه به موفقیت بزرگی دست یابند، پیاپی تشکیل شدند و نتوانستند روی سیستم واحدی توافق کنند. در نتیجه، یک

1. G.Valensi

گیرنده، تنها می‌تواند تصاویر یک سیستم را بگیرد. برای اجرای گسیلهای مجدد بین‌المللی با نامهای Enrovision و Mondiovision می‌بایست به سیستمهای دارای کیفیت بالا، اما پیچیده و گران روی آورده شود. عملاً در سراسر جهان، سه سیستم بزرگ وجود دارد: از امریکا NTSC، از آلمان PAL که بیشتر کشورهای اروپا آن را پذیرفته‌اند، بالاخره از فرانسه سیستم SECAM که کشورهای اروپای شرقی و نیز چند کشور خاور نزدیک از آن استفاده می‌کنند. توضیح مشخصات فنی این سیستمها به‌اختصار هم ممکن نیست.

در بالا به فرستنده‌های جهانی اشاره‌ای رفت. این کار به‌طورکلی با ربط دادن فرستنده‌های گوناگون توسط کابلهایی که علامتها را به بسامدهای ویدیویی منتقل می‌کنند انجام می‌گیرد. اما از چند سال پیش، رله‌هایی با فواصل بسیار زیاد، با واسطه‌های ماهواره‌ها، علاوه‌بر ارتباطات تلفنی که دائمی هستند، عمل می‌کنند. مثلاً تصاویر پخشهای آپولو که از ماه می‌آید و با ضربه‌های رمزی منتشر می‌شوند توسط چندین ایستگاه زمینی فضاپیماها، کشف رمز می‌شود و به قاره‌های متعدد، توسط یک یا حتی دو ماهواره دوباره پخش و در شبکه‌های کابلی هر کشور تزریق می‌شوند.

کاربرد دیگر ماهواره‌ها، که در سالهای ۷۰ طرحریزی شده‌است، پخش مستقیم برنامه‌های تلویزیونی است به‌طوری‌که همهٔ پخشهای تلویزیونی ناحیه، آن را بدون رله شدن، دریافت کنند. در این راه یک مشکل فنی بسیار جدی وجود دارد و آن قدرتی است که باید ماهواره‌ها و نیز آنتنهای گیرنده داشته باشند. اما مشکلات واقعی، از نوع سیاسی هستند زیرا ممکن است دولتهایی با پخش این تصاویر در کشورهای خود موافق نباشند.

دریانوردی: از همان زمان پیدایش تلگراف بی‌سیم قرار شد که یکی از کاربردهای آن، همان‌طورکه دیدیم، ارتباط با ناوها از طریق بی‌سیم باشد. آقای پوپوف در ۱۸۹۹ آزمایشهایی در کرونشتات انجام داده بود و آقایان تیسو و موریس دوبروی افسران نیروی دریایی فرانسه، از دستگاه دوکرته در بندربرست استفاده کردند. در جریان آزمایشهای پوپوف، توانستند ماهیگیران گم شدهٔ سوار بر یک تکه یخ را بدین وسیله نجات دهند. تلگراف بی‌سیم همچنین برای نخستین‌بار در کاری که بعدها نجات غریق اصطلاح شد، دخالت کرد. ناوها برای تأمین ارتباط با ساحل، بر اثر نیازهای ترافیک دریایی مجهز به گیرنده‌های خبر شدند و پس از آن توانستند تلگرافهای مسافران را مبادله کنند.

این تجهیزات در جریان غرق شدن کشتیها برای استمداد و نیز امکان نجات دادن جان انسانها به‌کار گرفته شدند. جر و بحثهای غم‌انگیز سالهای نخست شرکت مارکونی، بویژه دستور وی به اپراتورهای خود، مبنی‌بر منع تماس با ناوهای مجهز به وسایل غیر از شرکت مارکونی را به‌یاد

می‌آوریم. در سال ۱۹۰۹ کشتیهای مسافری Republic و Florida با یکدیگر برخورد کردند، اما ۱۷۵۰ مسافر آنها توانستند با علامتهای فرستاده شده توسط بی‌سیم نجات یابند. در سال ۱۹۱۲ فاجعه کشتی تایتانیک Titanic روی داد که از ۲۲۱۰ مسافر آن، ۷۱۰ مسافر توسط کشتیهایی که به تقاضای کمک آن کشتی پاسخ داده بودند، نجات یافتند؛ این فاجعه موضوع همکاری در مقیاس بین‌المللی را، مبرم کرد. یک کنفرانس بین‌المللی در سال ۱۹۱۲، پس از کنفرانسهای ۱۹۰۳ و ۱۹۰۶ استفاده از بی‌سیم در کشتی را مقرر داشت. بویژه سیستمی از مراقبت دائم تأسیس شد و اپراتورها متعهد شدند که در همهٔ حوادث از کمک دریغ نکنند. علامت مورسی که به‌عنوان اعلام حادثه، پذیرش جهانی یافت . . . ـ ـ ـ . . . بود که معمولاً آن SOS ترجمه می‌کنند و جانشین CQD شرکت مارکونی شد. تعبیرهای گوناگون رومی این حروف ارائه شده‌اند، اما گویا ساده‌تر است که بگوییم که این علامت، برپایهٔ . . ـ ـ . . علامت استفهام است.

ترافیک بی‌سیم دریانوردی با گذشت سالها رواج عظیم یافت. ایستگاههای ساحلی فراوانی ایجاد شدند. مثلاً در آستانه سال ۱۹۱۴ در فرانسه و آفریقای شمالی تعدادی از این ایستگاهها وجود داشت. پیدایش امواج پایدار، سپس امواج ده‌متری، افزایش بُرد و امنیت این ترافیک را تضمین کردند. در زمان حال، هیچ کشتی خارج از برد ایستگاههای زمینی نیست.

رواج تلفنهای بی‌سیم امکان داد که این ارتباطات، کشتیهای کوچک، بویژه کشتیهای ماهیگیری را که بدون اپراتورهای ورزیده هستند، نیز شامل شود. همچنین از آن پس، مسافران هر کشتی، در خود کشتی تلفنی داشتند که آنان را به شبکه‌های بزرگ تلفنی جهان مربوط می‌ساخت. در کشتیهای بزرگ، از تله تایپ (تلگرافهای تحریری) وصل به شبکهٔ تلکس زمینی استفاده می‌شود.

هواپیمایی، همینکه تجربه کافی به‌دست آورد، تلگراف بی‌سیم را به‌کارگرفت. نخستین آزمایشها در این قسمت، در ۱۹۱۰ توسط فریه با یک دیریژابل صورت گرفت. در این آزمایش به‌علت مجاورت خطرناک منبع هیدروژن با جرقه‌های دستگاه بی‌سیم و تأثیر برق طوفان بر آنتنها، مقداری احتمال خطر می‌رفت. سپس نخستین هواپیماها با دستگاه فرستنده مجهز شدند. به‌علت همهمهٔ موتور، گرفتن پیام در هواپیما عملاً ممکن نبود. در سالهای جنگ جهانی اول، دیده‌بانان هواپیما، توسط بی‌سیم، با آنتنهای بازشده زیر هواپیما مشاهدات خود را به توپخانه گزارش می‌دادند و توپخانه به این پیامها پاسخ می‌گفت. این تنها زمانی است که فرستنده‌های موجهای پایدار و گیرنده‌های مجهز به فزونساز تکامل یافته بودند و سازماندهی ارتباط زمین ـ هوا با بی‌سیم ممکن شده بود. به‌عنوان نمونهٔ وسایلی که در پایان جنگ توسط رادیوی ارتشی فرانسه به خدمت گرفته شد، می‌توان

از این وسیله نام برد. در همان زمان ارتباطات تلفن بی‌سیم هم آغاز گردید.

پس از برقراری صلح، همهٔ این وسایل به هواپیمایی کشوری، که تازه تأسیس یافته بود، واگذار شد. دربرابر برتریهایی که دریانوردی در زمینهٔ ارتباطات رادیویی به‌دست آورده‌بود، در هواپیمایی امکان شناسایی دقیق وضع هوا در مسیر افزوده گشت. نمونه‌ای از آن، پرواز بی‌وقفه آقایان دیودونه‌کوست[1] و موریس‌بلونت[2] از پاریس به نیویورک در سال ۱۹۳۰ بود که ادارهٔ هواشناسی فرانسه وضع هوا را پیوسته به آنان گزارش می‌کرد تا این دو خلبان فرانسوی بتوانند از مسیرهای دارای اختلالات جوی بپرهیزند. می‌توان گفت که پیشرفت جالب هواپیمایی کشوری تنها توسط ارتباطهای رادیویی میسر شد، همان‌طورکه صدسال پیش استفاده از راه آهن بدون وجود تلگراف با سیم نمی‌توانست پیشرفت کند.

کمکهایی به ناوبری: رادیو الکتریک، تنها با مبادلهٔ پیامها به ناوبری کمک نکرد، بلکه به‌طور روزافزونی دررشتهٔ «خدمات ناوبری» وارد شد. نخستین شکل این خدمات اطلاع ساعت نصف‌النهار مبدأ به ناوها بود تا آنها بتوانند کرونومتر کشتی را تصحیح کنند و همچنین با اطمینان فوق‌العاده‌ای به اصلاح مسیر کشتی بپردازند. علامتهای ساعتی نخست بین نقاط ثابت تجربه شده بودند، مثلاً در ۱۹۰۹ بین پاریس و بندر بیزرت. بعدها در سال ۱۹۱۰ گسیلهای منظمی از برج ایفل انجام گرفت. این کار سریعاً به پیش‌رفت وکنفرانس بین‌المللی ساعت در پاریس در ۱۹۱۲ طرحی برای شبکهٔ جهانی گسیلهای ساعتی تعیین کرد و سازمان بین‌المللی ساعتBureau international de l' Heureتشکیل یافت که از آن پس مرکز آن رصدخانهٔ پاریس قرارداده شد. جنگ جهانی اول عملی شدن این طرح را به‌هم زد، اما با این حال، تعداد بسیار زیادی گسیلهای ساعتی در جهان انجام گرفتند که خدمت بسیار بزرگی بود.

بعدها به فکر انتقال این کار به قلمرو هرتسی شبکه‌های فانوسهای دریایی، که آن همه به کشتیرانی خدمت می‌کنند، افتادند، اما این وسایل در مواقع مه غلیظ، که وجود آنها لازمتر است، بردشان کم و بی‌اثر می‌شوند. در ۱۹۱۴ چند فانوس دریایی رادیویی که علایم نشانه‌ای پخش می‌کردند تأسیس شدند. بعدها شبکه‌های سازمانیافته‌تری برپا گردیدند.

اما گیرندگی صرف و ساده این علامتها، چنانچه جهت پخش آنها معین نمی‌شد، ناکافی بود ـ و این کاری بود که جهت‌یابهای رادیویی اجرای آن را برعهده داشتند. آن‌طورکه دیدیم، آزمایشهای پخش و گرفتن جهتدار، به‌کمک ترکیبی از آنتنها یا کادرهای بزرگ، انجام می‌گرفت. پیدایش فزونسازهای لامپی در زمان جنگ جهانی اول، کاهش اندازه‌های کادرها و جهت دادن آسان آنها را درپی‌داشت.

1. D.Costes 2. M.Bellonte

برای نشانه‌گذاری ایستگاههای دشمن با جهتهای متقاطع و نیز برای ناوبری پیشرفتهای بزرگی به‌دست آمد.

بویژه توانستند آثار زیانبخش ظرفیتهای پارازیتی را جبران کنند و «تردید» ۱۸۰ درجه مربوط به تقارن نمودارهای تشعشع را برطرف سازند و خود را از «اثر شب» (یا خطای قطبش)[۱] ناشی از پخش یونکره‌ای رها نمایند.

در آستانهٔ جنگ جهانی دوم، ساخت رادیوهای جهتیاب خودکار شروع شد. این وسایل، جهت فرستندهٔ مورد نظر را مستقیماً نشان می‌دادند. به‌طورکلی، این دستگاه قاب کوچکی داشت که سریعاً می‌گردید تا افق را بیابد. در موارد دیگر، ترکیبی از قابهای راست‌گوشهٔ ثابتی، یک لامپ نوسان‌نگار را روی پرده‌ای که جهت روی آن آشکار می‌شد تحت تأثیر قرار می‌داد.

در سیستمهای دیگر، بدون اینکه زاویه‌سنج در کشتی عمل کند، تعیین مسیر آن را ممکن می‌ساخت. برای این کار کافی بود که یک جهت معین، توسط علامت مشخصه‌ای که فرستنده در زمین نشان کرده است، قابل تشخیص باشد. این جهت ممکن است ثابت باشد، که موضوع ناوبری رادیویی است یا متحرک در زمان، که بویژه موضوع سیستم Consol است. ناوبری رادیویی در هواپیمایی برای تجسم راههای هوایی به‌کار گرفته می‌شود.

فرستنده‌ای علایم درهم‌بافته‌ای در دو مسیر عمود بر هم گسیل می‌دارد، مثلاً (ـ ــ) Nدر یک مورد، و (ــ ـ)A در مورد دیگر. هواپیمایی که در نیمساز است یک خط کشیده دریافت می‌کند. در سیستم Consol که از سیستم Sonne (زونه = خورشید) آلمانی جنگ دوم گرفته شده‌است، محورگسیلیده، نقطه‌ها و خطها، منظماً حول فرستنده می‌گردد. اپراتور ناو عدهٔ خطها یا نقطه‌های دریافتی را می‌شمارد و بر آن اساس، یک خط کشیده را می‌فهمد. این تعداد، زاویه‌ای را که موقع هواپیما نسبت به یک مرجع دارد برای وی معلوم می‌کند.

بدیهی است همه آنچه که برای ناوبری در دریا گفته شد با مقداری تأخیر به‌علت عوارض فضایی در هواپیمایی هم به‌کار گرفته شده است.

با این همه، کمکهای ویژه‌ای به ناوبری دریایی مانده است. اینها وسایلی هستند که از امواج فرا صوتی منتشر در آب بهره می‌گیرند. آقای پل‌لانژون در ۱۹۱۷ ازکوارتز پیزوالکتریکی برای تولید و دریافت امواج فراصوتی استفاده کرد. بمنظور تعیین مکان زیردرییاییها و ژرفایابی خودکار دریاها تحقیقات گسترده‌ای انجام گرفت؛ اما تنها در پایان سال ۱۹۱۸ بود که به طرح دستگاهی نایل شدند که می‌توانستند آن را در ناوها به خدمت بگیرند. با این دستگاه، دسته‌ای از امواج فراصوتی

۱. ناشی از تغییر قطبش امواج رادیویی بین فرستنده و گیرنده در شب. ـ م.

در ته دریا بازتاب می‌شد و به گیرنده باز می‌گشت. فاصلهٔ زمانی بین رفت‌وبازگشت امواج، عمق را مشخص می‌کرد؛ سرعت پخش امواج حدود ۱۵۰۰ متر در ثانیه است. بدین‌ترتیب، نخستین سنجش فواصل، با بررسی مدت مسیر، رفت و بازگشت یک موج عملی گردید ـ رادار بر این پایه ساخته شده‌است. این روشها کاملتر شدند و به دستگاه سونار کنونی رسیدند.

این دستگاه برای تعیین جهت و موقعیت هرچیزی که در اطراف یک کشتی حرکت می‌کند زیردریاییها برای کشتیهای جنگی، ازدحام زیاد ماهیها برای کشتیهای غیر جنگی ـ و بالاخره تعیین عمق محل زیردریاییها، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستمهای هذلولی هدایت با رادیو: هدایت رادیویی اکنون با روشهای یک متحرک، کشتی یا هواپیما را در مسیر معینی پیش می‌برد. ناوبری رادیویی از نمونه‌های آن است اما روشهای آسانتری هم وجود دارد. طی جنگ دوم‌جهانی برای هدایت بمب‌افکنها به‌سوی هدفهایشان سیستمهای گوناگونی به‌کار گرفته شدند.

برای تهیهٔ طرحی از خطوط بر روی نقشه، نظیر مدارها و نصف‌النهارها و نشان دادن موقعیت روی آنها روشهای گوناگونی بررسی شده‌اند. این خطوط، معمولاً از نوع هذلولی هستند و درکانونهای آنها فرستنده‌های خاصی قرار دارند.

نخستین اختراعی که در زمینهٔ استفاده از خطوط هذلولی به ثبت رسید در ۱۹۳۰ بوسیله آقای هارمس[1] بود. این سیستمهای ناوبری رادیویی گذشت جنگ جهانی اخیر پدید آمدند و پس از آن برای مقاصد کشوری گسترش فراوان یافتند.

در فواصل کم، مثلاً برای نقشه‌های آبنگاری، اکنون سیستمهای هذلولی ویژه‌ای براساس سنجش فاز ترکیبات بسامدها وجود دارند که تنها بوسیله‌ای نه چندان گران نیاز دارند تا دقتهای بسیار بالایی برای تعیین موقعیت یک کشتی نسبت به ساحل داشته باشند.

همین روشها در بررسیهای زمین‌شناسی، مثلاً در جریان تحقیقات حوضه‌های نفتی، برای تعیین دقیق جاهایی که کارهای زمین‌شناسی، بررسیهای گرانشی، گمانه زنیهای لرزه‌ای و غیره انجام گرفته است. درصد احتمال، چند ده‌متر است.

سیستمهای هذلولی بر پایهٔ اندازه‌گیری تفاوتهای مدت مسیر امواج است. بنابراین، به اندازه‌گیری هر یک از این مسیرها نیازی نیست. در آغاز دههٔ ۷۰ یک سیستم ضدبرخورد هواپیماها، با تعیین مستقیم مدت مسیر امواج بین یک هواپیما و چیزهایی که آن را احاطه کرده‌اند مورد بررسی قرار گرفت.

1. Harms

بدیهی است که برای این کار، یک مرجع زمانی مشترک برای همهٔ هواپیماها و ایستگاههای زمینی باید باشد. این مرجع توسط ساعتهای اتمی که در همهٔ هواپیماها کار گذاشته شدند ـ و با ساعتهای شاهد مستقر در زمین کاملاً هم‌خوانی داشتند ـ ایجاد شد. زمانی‌که یک هواپیما روی ساعت خودش لحظهٔ رسیدن علامتی را، که از ساعت هواپیمای دیگر می‌آید می‌خواند، فاصله‌اش را می‌فهمد، و بنابراین، بدرستی می‌تواند عمل کند. روشن است که برای اینکه این فاصله بسیار کوتاه زمانی را با دقت تخمین بزنند، ساعتها باید با ثبات بسیار بالایی کار کنند. چنین ساعتهایی اکنون در مقیاس صنعتی تولید می‌شود.

سرانجام، پیدایش ماهواره‌ها روش تازه‌ای از ناوبری ایجاد کرد که بر پایهٔ نوسانگرهایی با بسامد فوق‌العاده پایدار است. این نوسانگرها از نوع Transit هستند. در این سیستم از اصل یا اثر دوپلر ـ فیزو[1] استفاده شده‌است. با دانستن بسامد فرستندهٔ ماهواره که در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتری گردش می‌کند، لغزیدن و جابه‌جایی این بسامد در گیرندگی مشاهده می‌شود ـ لغزشی که ناشی از سرعت شعاعی ماهواره نسبت به گیرنده‌است. با اندازه‌گیری پیوستهٔ این لغزش، فاصلهٔ میان فرستنده و گیرنده معلوم می‌شود. اما برای اینکه از این عدد استفاده شود موقعیت ماهواره در لحظهٔ مورد بحث و بدین‌ترتیب، مدار آن را باید دقیقاً بدانیم. پارامترهای آن را ایستگاههای ثابت معین کرده‌اند و به ماهواره ابلاغ می‌شود تا به طالبان آن برساند. مجموعهٔ این سیستم برپایهٔ کاربرد دو بسامد است که با نسبت دقیقی نگاه‌داری می‌شوند تا از خطای ناشی از شکست نور در لایه‌های جو پرهیز شود. دقت حاصل در حدود چند ده‌متر است.

در طرح فرانسوی Géole که می‌تواند در آستانهٔ سال ۱۹۸۰ به‌خدمت گرفته شود، هر متحرک نشان شده، یک رادار کوچک پاسخگو دارد تا ماهواره که در ارتفاع ۳۵۰۰ کیلومتری گردش می‌کند به‌هنگام عبور مورد سؤال قرارگیرد. دقت کار در این روش، پس از چندین گردش به‌حدود یک متر می‌رسد.

رادار: نخستین ثبت اختراع دربارهٔ آشکارسازی یک مانع یا یک ناو با روش الکترومغناطیسی در ۱۹۰۴ و از آن کریستیان هولفزمییر[2] آلمانی بود. تصور اینکه این کار را بتوان در زمانی انجام داد که از امواج ناپایدار استفاده می‌شد و نوسان‌نگار کاتدی وجود نداشت باور نکردنی به‌نظر می‌رسد. حدود سالهای ۱۹۳۰ بود که بررسیهای اولیه دربارهٔ امکان گرفتن امواج بازتابیده توسط یک مانع برای تعیین فاصله با اندازه‌گیری فاصلهٔ زمانی بین گسیل علامت و گرفتن بازتاب آن انجام گرفت.

---

۱. Doppler-Fizeau effect: تغییر ارتفاع شنودی صوت در اثر حرکت منبع آن ـ م.

2. C.Hulfsmeyer

آقایان هویت تیلور و یانگ در سال ۱۹۲۲ بازتاب امواج روی یک ناو کوچک را مورد بررسی قرار دادند. مشاهدات مشابه زیاد دیگری در کشورهای گوناگون انجام گرفت. در سال ۱۹۳۴ آقای پل‌داوید با همکاری رادیوی ارتش فرانسه به تحقیقاتی روی آشکارسازی هواپیماها بوسیلهٔ اثر دوپلر، توسط امواجی که آنها را بازتاب می‌کردند، دست زد. تعبیه‌های لازم برای این روش، توسط مقامات ارتش فرانسه برپا شدند. آخرین مدلها عملاً همهٔ عناصر مفید را دادند. در ۱۹۴۰ آنها بویژه در تولون دخالت کردند. در ۱۹۳۵ آقای واتسن ـ وات در بریتانیای کبیر بنوبهٔ خود، اختلالی را تذکر داد که در اثر عبور یک هواپیما در مسیر امواجی که وی با آنها آزمایشهایی برای پخش انجام می‌داد مشاهده کرده است. وی بررسی آشکارسازی هواپیماها را با وارد آوردن ضربه روی امواج متری آغاز کرد. در همان زمان CSF پس از بررسیهای آقایان موریس پونت وهانری گوتون که از دستگاه مولد موجهای ۱۶ سانتیمتری، ساخت آقایان کامی گوتون و پیره استفاده می‌کردند، دستگاههای آشکارکنندهٔ موانع، بویژه یخپاره‌ها را روی کشتیهای اورگون و نورماندی قرار دادند که جهت ـ نه فاصله ـ را نشان می‌دادند.

کمی پیش از جنگ ۱۹۳۹ بیشتر ملل بزرگ تأسیسات بزرگی ساخته بودند. در فرانسه، علاوه‌بر تعبیه‌های داوید، دستگاههای وارد کنندهٔ ضربه روی امواج متری، ساخت آقای گونترلمان[1] برای شرکت سادیر[2]، در تولون به‌کار گرفته شدند. شرکت CSF مطالعات خود را روی امواج دسی و سانتیمتری با ماگنترونهای دارای آند چاکدار پیش برد. این لامپها که از نوع خارجی خود بهتر بودند در ماه مهٔ ۱۹۴۰ به پژوهش‌گران بریتانیایی عرضه شد و در موفقیت آشکارسازهای بعدی بریتانیا مؤثر شدند.

آقای واتسن ـ وات مأمور شده بود که شبکهٔ گسترده‌ای از آشکارسازها تشکیل دهد که سراسر سواحل بریتانیا در دریای شمال و مانش را بپوشاند.

این شبکه برجهای بزرگی داشت که آنتنهایی بر آنها افراشته می‌شد که با ضربه‌های بسیار قوی یک مگاوات در بطن موج روی امواجی از ۶ تا ۱۳ متر، علامتهایی گسیل می‌کردند. سازمانی بسیار سنجیده نتایج به‌دست آمده را در یکجا متمرکز می‌ساخت و تعقیب دقیق هواپیماهایی را که احتمالاً از آلمان حمله می‌کردند امکان می‌داد. این تجهیزات در جنگ انگلیس در ۱۹۴۰ اهمیت بسیار زیادی کسب کرد و به چند اسکادران هواپیماهای شکاری امکان می‌داد که با هوشیاری علیه هجومهای هواپیماهای بمب‌افکن عمل کنند. برای آشکار کردن هواپیماهایی که در ارتفاع کم پرواز می‌کنند یک زنجیرهٔ کمکی با امواج ۱٫۵۰ متری و آنتنهای جهتداری عمل می‌کردند.

1. Gunther Lehman 2. SADIR

در آلمان از سال ۱۹۳۴ در این باره مطالعات مهمی شروع شد و به ساخت دستگاههای گوناگون مراقبت، مجهز به سیستمهای بزرگ آنتن عمودی جهتدار انجامید.

در ممالک متحده امریکا، دریاداری، این مسأله را در ۱۹۳۴ پیش‌کشید. در این تاریخ، همهٔ توجه‌ها معطوف هوا بود. نخستین دستاوردها در ۱۹۳۶ بود. ارتش امریکا تعداد زیادی از آن را ساخت و نخستین دستگاههای عملی در سال ۱۹۳۸ روی امواج به طول ۱/۵ متر طول ساخته شدند.

طی جنگ جهانی دوم، بررسیها از جنبه‌های گوناگونی فعالانه انجام می‌گرفت. حتی در فرانسه، با وجود اشغال آن توسط آلمانیها، در به‌اصطلاح منطقهٔ آزاد تا سال ۱۹۴۲، کارهای محرمانه در این زمینه ادامه داشت. در کشورهای آنگلوساکسون، تدریجاً طول موج را کاهش دادند تا به چند سانتیمتر رسید. این امر سبب ظرافت بسیار زیاد دسته امواج گسیل شده گردید، که نخست توسط شبکه‌های آنتنی و بعدها با پروژکتورهای ساخته شده از آینه‌های واقعی انجام می‌گرفت. دقت چشمگیری به‌دست آمده بود. کاوش در سمت‌الرأس و در چشم‌انداز، با جابه‌جا کردن مکانیکی آینه‌ها یا با جابه‌جایی الکترونیکی فاز اجسام کوچک هوا بردی که این آینه‌ها را «روشن» می‌کنند انجام می‌گرفت. دستگاههای «تعقیب خودکار» اشیا در سال ۱۹۴۳ ساخته شدند.

این دستگاه در همان آغاز جنگ در هواپیما کار گذاشته شد و موقع هواپیمای دشمن را تعیین می‌کرد. اما توانستند حوزهٔ دید پایگاه زمینی و اشیاء مورد اصابت را توسعه دهند. در واقع، رادار: Radio Detecting and Ranging پانورامایی، محل را از هواپیما می‌کاود و با نوعی روبش دوار نوسان‌نگار گیرنده، جزئیات محل را با استفاده از انعکاس امواج توسط آنها، روی نقشه بازسازی می‌کند. دستگاه H_2S بریتانیا با امواج به طول ده‌سانتیمتر در ۱۹۴۱ به‌کار گرفته شد و خدمات بسیار گرانبهایی انجام داد. همین روش، اساس ناوبری هوایی باقی ماند. دستگاه دیگری، IFF یا Jdentification Freind or Foe بازتاب انجام شده توسط هواپیما را به رمز می‌آورد و بدین‌ترتیب، آن را شناسایی می‌کند. از میان وسایل مورد استفاده برای اختلال در کار رادارهای دشمن، می‌توان از فرستنده‌های ویژه و نیز دستگاه Windows نام برد که نوارهای کوچک فلزی بسیار زیادی، که تشکیل نوعی دو قطبیهای منطبق را می‌دهند از هواپیما آویزان می‌شدند و روی گیرنده‌های دشمن ایجاد شبحهایی می‌کردند.

در آلمان نیز این دستگاهها تکمیل شدند و به مدلهای بسیار پیشرفته‌ای دست یافتند. اما یک اشتباه در قضاوت از سوی مقامات بالا باعث توقف در تحقیق روی امواج سانتیمتری شد و

پیشرفت این وسیله را بسیار به تأخیر افکنند.

پس از جنگ جهانی دوم، در همهٔ کشورها، پیشرفتهای بزرگی در این زمینه پدید آمد. این وسیله، قدرتمندتر شد؛ هواپیما را از فاصلهٔ بیشتر از دو هزار کیلومتری آشکار می‌کردند، توانستند پژواکهایی از ستارگان بسیار دور به‌دست آورند. هم جهت و هم فاصله شیء دقیقتر نمایانده شدند. مدلهای غیر ثابت ساخته شدند که بوسیلهٔ آنها، رهگذری می‌توانست رهگذر دیگری را از فاصلهٔ بیست کیلومتری «ببیند». از عیوب رادارهای پانورامیک این است که مقداری پژواکهای «ثابت» مربوط به بازتابهای موانع نزدیک، ستونهای بزرگ، دودکشها، ساختمانها و غیره را آشکار می‌سازد. با گسیل علامت در یک شبکهٔ با تأخیر و کاربرد مجدد آن در گیرنده، با فاز مخالف، می‌توان آنها را از بین‌برد. این پژواک هواپیمای در نظر گرفته شده، با جابه‌جایی آن و اثر دوپلر پاک نمی‌شود.

یک کاربرد نظامی بسیار ویژهٔ رادار، در زمان جنگ پیدایش یافت. این کار، فیوز خودترکان مجاورتی بود که پرتابه را وقتی به فاصلهٔ معینی از هدف می‌رسید منفجر می‌ساخت. در پوکه گلوله، رادار بسیار کوچکی بود که پژواک را می‌گرفت و آن را با بسامد علامت گسیل شده مقایسه می‌کرد، آن‌گاه اثر دوپلر، ایجاد انفجار می‌کرد. این سلاح در سال ۱۹۴۴ در جنگ با VI که به‌سوی جزایر بریتانیا پرتاب می‌شد، نقش عمده‌ای داشت.

همین‌که جنگ پایان یافت، بررسیهایی که دربارهٔ رادار انجام گرفته بودند، تحویل بخش کشوری هواپیمایی شد. عمدهٔ کار این دستگاه در ناوبری هوایی و دریایی باقی ماند. همهٔ ناوها مجهز به رادار پانورامیک شدند که موانع، وسایل متحرک، و ناوهای دیگر را اعلام می‌داشت. ناوبری چه در شب و چه در زمانهای نامساعد می‌توانست با اطمینان کامل انجام گیرد. فرودگاهها با رادارهای فوق‌العاده قوی و حساس مجهز شدند.

این رادارها نقشه کاملی تهیه می‌کردند که همهٔ هواپیماهایی که در شعاع عمل آنها حرکت می‌کردند، شناسایی و مسیرهایشان در آن نقشه دیده می‌شدند. بدین‌ترتیب، در برجهای مراقبت، شناسایی وضع آسمان فرودگاه در هر لحظه میسر می‌شد و اقدامات لازم به خلبان توصیه می‌شد. بسیاری از هواپیماهای بزرگ در جلوی خود رادارهای کوچکی دارند که دربارهٔ وضع هوای مناطقی که از آنها خواهند گذشت اطلاعاتی به خلبان می‌دهند.

رادار کوچک بسیار جالبی نیز در هواپیمایی به‌کار گرفته می‌شود که ارتفاع را با امواج رادیویی می‌سنجد. این دستگاه با سنجش مدتی که امواج با تحمیل بسامدی برای رسیدن به زمین و بازگشت به دستگاه گذرانده‌اند، ارتفاع هواپیما تا زمین را پیوسته نشان می‌دهد. بسامد ضربه بین موجهای

گسیلی و بازتابی، این مدت و بنابراین ارتفاع را تعیین می‌کند. این مشاهدات، ارتفاع‌سنج بارومتری را که وجود موانع کوچک را معلوم نمی‌کرد، به‌طور مؤثری کامل می‌سازد.

دربارهٔ رادار، باز هم باید از کارایی آن در زمینهٔ امواج نوری، سخن گفت؛ دستگاهی که غالباً lidar یا Light Detection and Ranging نامیده می‌شود. کار این دستگاه، تنها بر اثر وجود لیزرهای ضربه‌ای بسیار قدرتمند و با تمرکز فوق‌العاده است. اصول کار آن، مشابه رادار می‌باشد، اما لیزر جانشین فرستندهٔ کهموجها شده‌است و سلول نورابرقی در کارگرفتن پژواک، دخالت دارد. لیزرها معمولاً با امواج زیر قرمز کار می‌کنند و اشعهٔ آنها مقداری از ابر و مه می‌گذرد. با این همه، در حال حاضر، کاربرد آنها در پژوهشهای علمی است.

رادار در زمینه‌های علمی اهمیت کاربردی یافته است. نخست رشته‌های ژئودزی و توپوگرافی از سیستمهای مخصوص راهنمایی هواپیماهای بمب‌افکن سود گرفتند. مثلاً دستگاه هیران[1] که از دستگاه شوران [2] ارتشی اقتباس شده بود پس از جنگ خدمات بزرگی برای استقرار نقشه‌های مثلث‌بندی ژئودز یکی در نواحی صعب‌العبور، مانند ناحیهٔ نورد بزرگ کانادا انجام داده‌است. هواپیمایی از فراز منطقهٔ میانی ضلع مثلثی که باید اندازه‌گیری شود، چندین صد کیلومتر پرواز می‌کند و فاصلهٔ بین دو رأس این ضلع را، با رادار عمل کننده با موجهای دسیمتری با دقت اندازه می‌گیرد.

به‌جای یک بازتاب ساده، در این حالت از به‌اصطلاح رادار پاسخگو، یعنی یک دریافت کنندهٔ بازفرستنده، استفاده می‌شود. مجموع این فواصل، زمانی‌که هواپیما دقیقاً از وسط پرواز می‌کند حداقل است. تصحیحات متعددی از ارتفاع و وضع هوا که بر سرعت امواج اثر می‌گذارند برای دستیابی به دقتی در ردیف میلیونیم، لازم است. برای فواصل کمتر، در ردیف چند ده کیلومتر، از وسایل ساده‌تر و قابل حمل استفاده می‌شود، اما دقت باز بسیار بالا است. در واقع، همهٔ این دستگاهها برپایهٔ نوعی روش اندازه‌گیری معکوس روشی عمل می‌کنند که آقای فیزو[3] در سدهٔ گذشته برای اندازه‌گیری سرعت نور به‌کارگرفته بود. موجهایی که به‌سوی یک رأس فرستاده شده‌اند در رأس دیگر روی یک آینه منعکس می‌شوند.

این موجها که یک پلکزن الکترونی توسط یک نوسانگر کوارتزی، آنها را در هر ثانیه میلیونها بار قطع می‌کند در برگشت، سیستمی از موجهای ایستاده ایجاد می‌کنند. به لطف فازسنجهایی، فاصله را می‌سنجند. یکی از این سیستمها با نام ژئودیمتر[4] ساخت آقای برگسترند[5] سوئدی از سال ۱۹۵۰ از موجهای نوری استفاده می‌کند؛ در سیستم دیگری با نام تلورومتر[6] ساخت آقای ودلی،[7]

1. Hiran 2. Shoran (short-range navigation) 3. Fizeau 4. geodimétre
5. Bergstrand 6. tellurométre 7. Wadley

از آفریقای جنوبی، موجهای هرتسی سانتیمتری گسیل می‌شوند. در سایهٔ تصحیحاتی که با دقت بررسی شده‌اند نتایج کار آنها کاملاً رضایتبخش است و کار ژئودزی و توپوگرافی بسیار آسان گشته‌اند.

در اخترشناسی نیز، رادار کاربردهای گوناگونی دارد که بررسی سطح ماه توسط آن نخستین آنهاست. در سال ۱۹۴۶ یک پژواک گرفته شد و تکمیلهای پیاپی، دقت هرچه زیادتر در اندازه‌گیریهای فواصل و ظرافت، شناسایی کامل سطح ماه را ممکن ساخت. تحقیق دربارهٔ اعماق زمین نیز اجرا شده است و استفاده از طول موجهای متفاوت، نفوذ به درون زمین را ممکن می‌سازد. بعدها پژواکهایی که از زهره به‌دست آمد آنچنان ضعیف بود که برای استفاده از آنها، نوعی تجزیهٔ بسیار ظریف توسط ارتباط منطقی اجزا با یکدیگر لازم آمد.

حتی به‌نظر می‌رسد که پژواکهای رادار بتوانند روی خورشید مشاهده شوند. دربارهٔ ماه باید گفت که از این پس، لیزر است که به لطف باز تابنده‌های کاتافوت ساخت فرانسه که توسط موشکهای فضایی روی ماه قرار داده شده‌اند، می‌تواند از آن نقشه برداری کند. این دستگاه، لیزر ضربه‌ای قدرتمندی است که در تلسکوپی نصب شده‌است؛ در دستگاه گیرنده، سلولهای فراوان با فزونسازهای الکترون در آینه‌ها به‌طور موازی گذاشته شده‌اند. مقدار حساسیت آن نسبت به فاصله در ردیف دسیمتر است. نتایج کار برای آشنایی بیشتر با حرکت ماه بسیار پر ارزش خواهند بود.

اخترشناسی رادیویی: با شروع ارتباطات رادیویی، تکنسین‌ها از پارازیتهای برخاسته از گسیل با امواج ناپایدار مربوط به تخلیه‌های آسمانی در رنج بودند. این تخلیه‌ها با انرژیهای فراوان و ارتفاع زیاد، فرستنده‌های پرقدرت نامطلوبی بودند که امواج آنها تا فواصل بسیار دور انتشار می‌یافت. آنها در دستگاههای گیرنده سروصداهایی ایجاد می‌کردند که غالباً امواج مطلوب را می‌پوشانیدند. این مزاحمت، با طولانیتر بودن امواج، بیشتر می‌شد.

اما گسیلهای ناپایدار و طبیعی دیگری هم هستند که منبع آنها بیرون از زمین است. بنابر قانون استفان، همهٔ اجسام در هر طیف الکترومغناطیسی، انرژی صادر می‌کنند. دما برای این صدور انرژی، عامل اصلی است. بنابراین، طبیعی است که چنین تشعشعهایی را در منطقهٔ هرتسی مانند منطقهٔ مرئی یا زیرقرمز، دریافت کنیم. کمی پیش از سال ۱۹۰۰ آقای نوردمن[1] در مون بلان برای آشکارسازی چنین علایمی ـ بدون موفقیت ـ کوشید. اکنون معلوم است که برای توفیق در این کار، گیرنده‌های بسیار حساسی لازم است که نوع آنها در آن زمان ناشناخته بود. در ۱۹۳۱ آقای کارل‌جانسکی[2] امریکایی نشان داد چنین می‌نماید که زمانی‌که راه شیری در جهت آنتن گیرنده است این پارازیتها شدیدتر هستند.

1. Nordmann 2. Karl Jansky

آقای گروته‌ربر[1] در برههٔ ۱۹۳۷ تا ۱۹۴۲ با سنجیدگی بیشتری، این تشعشعات را برحسب موقعیت و بسامد کانونهای تشعشع بررسی کرد. در زمان جنگ، آقای های[2] کارشناس انگلیسی رادار در سال ۱۹۴۲ نشان داد که زمانی‌که خورشید در منطقهٔ دسته امواج رادار است، همهمه ایجاد می‌شود. اخترشناسان در ۱۹۴۵ به این پدیده علاقمند شدند و همزمان در همهٔ کشورها رشتهٔ نجوم رادیویی پدید آمد که فصلی از اخترشناسی نوری بود. جوّ زمین پرده‌ای است که از گرفتن بعضی ردیفهای طیفی جلو می‌گیرد. مثلاً، یونکره همهٔ بسامدهای پایینتر از ۳ و از ۱۰ مگاهرتس را بر حسب اینکه چه ساعتی باشد، متوقف می‌سازد. بخار آب و اکسیژن، به‌طورکلی، موجهای بالاتر از ۳۰ گیگاهرتس (میلیمتری) را جذب می‌کنند.

در پرتو آنتنهای بسیار جهتدار، آینه‌هایی که معمولاً در شبکه‌های تداخل‌سنجی ردیف شده‌اند و با گیرنده‌های بسیار حساس به‌اصطلاح پارامتری، توانستند این گسیلها را بگیرند و منبع تشعشع آنها را بیابند. بعضی از این تأسیسات، غول‌آسا هستند؛ مثلاً تلسکوپ رادیویی گرین‌بنک[3] امریکا یک آینهٔ شلجمی (سهمی شکل) دارد که نود متر قطر آن است و در هر جهت می‌گردد؛ در شهر نانسی فرانسه، یک آینهٔ شلجمی ثابت با ابعاد ۳۰۰ × ۵۰ متری با یک آینهٔ مسطح و گردان با سطح ۸۰۰۰ متر مربع ترکیب شده‌است.

اکتشافات پی‌درپی انجام می‌گرفتند. در ۱۹۴۸ نقاطی از کیهان که تشعشعات بسیار شدیدی گسیل می‌داشتند شناخته شدند. کمی پس از آن به بررسی طیفهای تشعشات خورشیدی روی آوردند. حدود ۱۹۵۲ به‌وجود هیدروژن خنثی در فضای بین ستارگان پی‌برده شد ـ عنصری با تابهٔ ۲۱ سانتیمتری، که هشت سال پس از آن در میزر رمزی به‌کار گرفته شد. بررسی اثر دوپلر ـ فیزو روی این بسامد، شناخت حرکتهای این ابرهای هیدروژنی را ممکن ساخت. بدین‌ترتیب بود که آقای اورت[4] از هلند در ۱۹۵۴ ساختار مارپیچی کهکشان ما را ثابت کرد.

در همین اوان، تشعشعات صادر از مشتری و پس از آن تشعشعات صادر از ستارگان دیگر شناخته شدند. در این زمان مشاهدهٔ دقیق خورشید با کمک رادیو الکتریک به پیشرفتهای چنان مهمی دست یافت که دربارهٔ ساختار آن اطلاعات اساسی به‌دست آمد. در ۱۹۶۳ کوازارها: quasi-stellar radiosources، کهکشانهای بسیار پرقدرت، کشف شدند. طیف مرئی آنها به‌سوی قرمز با دامنهٔ بزرگ جابه‌جا شده‌است، یعنی کوازارها با سرعتی بیش از سرعت نور از ما دور می‌شوند و این امری بود که اخترشناسان را بهت‌زده کرد. در ۱۹۶۸ نوبت به ستارگان تپنده رسید که گسیل آنها ضربه‌های بسیار کوتاه با آهنگی نزدیک به ثانیه و با نظمی در ردیف 10^{-8}

1. Grote Reber 2. Hey 3. Green Bank 4. Oort

است. با استفاده از تلسکوپ الکترونی، کشفیات دیگری شد، مثلاً: خطوط طیفی اتمی و مولکولی در تشعشعات دریافتی آشکار شدند.

برای دقیقتر کردن مشاهدات، از تداخل‌سنجهایی استفاده شد که با ردیفی از آنتنهای جدا از هم، با فاصلهٔ معین، که جابه‌جایی فازهای آنها معلوم بود ساخته شده بودند. طول این پایگاهها، از چند کیلومتر به چندین صد و سپس به هزاران کیلومتر رسید ـ پیشرفتی که نتیجهٔ کاربرد ساعتهای اتمی با تثبیت فازها بود.

گسترش غیر منتظرهٔ رادیو الکتریسیته، فصل نوینی در تاریخ اخترشناسی گشوده است که می‌توان آیندهٔ بسیار پرباری برای آن پیش‌بینی کرد.

علایم ساعتی و بسامد استانده: در بالا از علایم ساعتی که دریانوردان برای تنظیم کرونومتر خود مورد استفاده قرار می‌دادند، سخن گفتیم. فرستنده‌های بی‌شماری در جهان، از چند دههٔ پیش از این، در ساعتهای مختلف در یک ثانیهٔ دقیق، «تاکی» را گسیل می‌دارند. این «تاک» مربوط به دقیقهٔ تمام، معمولاً از راه دراز شدن، برای نمره‌گذاری، نشان شده‌است. سازمان بین‌المللی ساعت هر روز صدها علامت را اندازه می‌گیرد و تصحیحات بسیار کوچکی را برای میزان شدن ساعتها اعلام می‌کند. می‌توان به دقتی در ردیف هزارم ثانیه در گیرنده، امیدوار بود.

بعضی از فرستنده‌های ویژه، پیوسته، علایم ساعتی گسیل می‌دارند. دقت نسبی علایم ثانیه‌ای، ضربه‌های بسیار کوتاه، چه در موج حامل و چه در تحمیل، بسیار بهتر از فرستنده‌های معمولی است و می‌تواند به میلیونیم ثانیه برسد.

این فرستنده‌ها با یکدیگر هماهنگ و تقریباً دارای دقت برابری هستند. اینها در واقعیت همان فرستنده‌های بسامد استانده هستند. در حقیقت آهنگ ضربه‌ها مضربی از بسامد حامل است که خود آن توسط یک نوسانگر استانده تثبیت شده است.

نخستین گسیلهایی از این نوع حدود سال ۱۹۳۲ توسط فرستندهٔ WWV ادارهٔ استانده‌های امریکا اجرا شدند. پس از جنگ، کشورهای دیگری از امریکا تقلید کردند و عملاً مجموع این گسیلها یک خدمت واقعاً جهانی را تشکیل داد. بسامدهای گسیلها با امواج ده‌متری در ردیف ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ مگاهرتس بودند. دو فرستندهٔ بریتانیایی و امریکایی با طول موج بیشتر روی ۶۰ کیلو هرتس گسیل کردند، یک فرستندهٔ سویسی با ۷۵ کیلو هرتس و یک آلمانی روی ۷۷/۵ کیلو هرتس. در فرانسه از سال ۱۹۵۶ فرستندهٔ کوچک FFH روی ۲/۵ مگاهرتس گسیل می‌کند.

بسامد همهٔ فرستنده‌ها از این پس توسط یک ساعت اتمی روی 10^{-11} یا 10^{-12} نسبت به

زمان اتمی (TA) که توسط تابه‌ای از سزیم که در بالا دیدیم، تثبیت شده است. بنابراین، ثانیه‌هایی که گسیل شده‌اند، ثانیه‌های زمان اتمی هستند. برای کارهای جاری، بویژه ناوبری بهتر است که زمان عمومی، که مربوط به گردش زمین است و معلوم شد که نظمی ندارد، گسیل شود. از اول ژانویهٔ ۱۹۷۲ همهٔ این گسیلها همزمان شده‌اند و به زمان اتمی اضافه یا کم می‌شوند، لزوم چنین تصحیحی ناشی از بی‌نظمی حرکت زمین است؛ در ۳۰ ژوئن و ۳۱ دسامبر یک ثانیه می‌باشد، تا زمان عمومی تنظیم شده (utc)[۱] به‌دست آید.

مقایسهٔ این بسامدها با یکدیگر و مطمئناً با استانداردهای لابراتواری یا رصدخانه‌ها یا از طریق انتقال ساعتها انجام می‌گیرد، به‌طوری‌که متذکر شدیم، یا توسط اندازهٔ فاز رادیو. در حقیقت عملاً هر روز، تصحیحات لازم را، نه‌تنها برای «تاک»های ثانیه، بلکه همچنین برای امواج بلند، مربوط به فاز خود موج حامل انتشار می‌دهند.

دقت اندازه‌ها در گیرنده، شدیداً تحت تأثیر انتشار یونکره‌ای موجها، طول مسیر، و بنابراین وضع فاز در لحظه رسیدن است که با ساعت روز و فصل تغییر می‌کند. می‌توان بخصوص اگر با ساعتهای منظم و معین کار می‌شود، آن را در نظر بگیرند. در این صورت دقت در ردیف میکروثانیه و برای بسامد در حدود $۱۰^{-۱۱}$ است.

بدین‌ترتیب، مقایسهٔ زمانها با دقت چند ده میلیاردیم ثانیه با دو روش ویژه می‌تواند انجام پذیرد. نخست، سیستم ناوبری رادیویی LoranC است که از انتشار در طول زمین بهره می‌گیرد؛ دوم، بر پایهٔ اندازه‌گیری همزمان یک علامت همزمانساز محتوی در یک گسیل تلویزیونی است. چنانچه از رله‌های انتقال استفاده شود، می‌توان با تعیین مقدار تأخیرها، در مسافتهای زیاد هم عمل کرد.

ساعت گویا، که همه آن را می‌شناسند، وقت دقیق را از راه تلفن اعلام می‌کند و در بعضی ساعتها نیز در برنامه‌های رادیویی، «تاک»های آن تا حدود هزارم ثانیه دقیق است. اعلامهای ساعت، دقیقه و ثانیه به‌طور عکاسی توسط سلولهای فتوالکتریکی خوانده می‌شوند.

مسابقهٔ نیازها و دستگاهها

توسعهٔ کاربردهای یک تکنیک با خود آن تکنیک، همواره تأثیرهای متقابل دارند. در مواردی، کاربردها نتیجهٔ پژوهشهایی هستند که گاهی بی‌هدف انجام گرفته‌اند، در موارد دیگر، به‌کاربرندگان، اصلاحاتی را می‌طلبند که مستلزم پژوهشهای نوینی است. نمونهٔ ساده‌ای از این جریان، تقاضا برای اندازه‌گیری بسیار دقیق بسامد است که از چند دههٔ پیش از این همیشه مورد نظر بوده است.

۱. Universal Time Coordinated معنای زمان عمومی تنظیم شده. ـ م.

می‌توان پذیرفت که این دقت، در لابراتوارهای ویژهٔ تحقیقات بنیادی، همیشه مورد نظر بوده است؛ یا اینکه غالباً، مثلاً برای دستگاههای ضدبرخورد، این تکنسین‌ها بودند که پژوهشگران تحقیقات بنیادی را به بهتر کردن روشهایشان فراتر از آنچه که کافی می‌شمردند، ترغیب کرده‌اند.

تأثیر جنگ: کاملاً روشن است که جنگ دربرابر خرابیهایی که ایجاد کرد لااقل تحقیق در تکنیکها و در نتیجه، تحقیقات بنیادی را برانگیخت. در زمان جنگ، دولتها که نیاز به سلاحهای نوین به‌آنها فشار می‌آورد در مورد وسایل و اعتبارهای لازم صرفه‌جویی نمی‌کردند ـ کاری که در زمان صلح مراعات می‌شد. این رویه، پیشرفتهای وسیع و سریعی را سبب شد که خوشبختانه بعداً به زندگی کشوری خدمت کردند.

جنگ ۱۹۱۴ ـ ۱۹۱۸ در رشته هواپیمایی، که در سالهای پیش از آن در حالت تجربی بود پیشرفتهای بزرگی پدید آورد و پس از پایان گرفتن مخاصمات، مدتی نگذشت که به‌کار گرفته شد؛ خودروهای زنجیری (شنی‌دار) نیز، پس از ساخت گردونه‌های زره‌پوش، وارد زندگی مردم شدند. در رشتهٔ مورد این گفت‌وگو، تردیدی نیست که لامپهای الکترونی و کاربردهای آنها، بدون استفاده از فزونسازها و سپس به‌کارگیری موجهای پایدار در قسمتهای فرستنده و گیرنده در زمان جنگ، با چنین سرعتی به پیش نمی‌تاختند.

در اینجا به یاد می‌آوریم که زمانی‌که ارتش امریکا در ۱۹۱۷ در فرانسه پیاده شد، مشاهده کرد که وسایل بی‌سیم آنها دربرابر بی‌سیم فرانسه ناقص است و آن را به‌کار گرفت.

جنگ ۱۹۳۹ ـ ۱۹۴۵، کاربرد انرژی هسته‌ای را عملی کرد.

اگر بریتانیای کبیر، و بویژه ممالک متحده امریکا، به‌کارگیری بمب‌اتمی را در نظر نداشتند، چرا آن وسایل عظیم مورد لزوم آن را آماده کرده بودند. اما «استفادهٔ مسالمت‌آمیز از اتم» بعدها از همهٔ این تحقیقات استفاده کرد. موشکها که همهٔ تسخیر فضا در پرتو آنهاست، توسط آلمانیها برای بمباران انگلیسیها با شدت تمام مورد بررسی قرار گرفتند. همین‌طور پیشرفت ساخت پنی‌سیلین و آنتی‌بیوتیکها، بدون اینکه درمان مجروحان بی‌شمار مطرح باشد به‌وقوع نمی‌پیوست.

الکترونیک که در آن پیشرفت امواج بسیار کوتاه بسیار زیاد بود و نیز بویژه رادار، در زیر فشار همین حوادث اهمیت فراوان یافتند. پیشرفت آنها در همهٔ جهات چشمگیر شد و کاربرد آنها در زمان صلح، معلوم است که نتیجهٔ مطالعات دوران جنگ بود. زمانی‌که Radiation Laboratory مؤسسه MIT، براحتی، ۲۷ مجله را وقف آن می‌کند می‌توان به مجموعهٔ اطلاعاتی که پس از جنگ در اختیار محققان گذاشته شده‌است پی‌برد. در رشتهٔ خودکاری و هدایت از دور، باز باید گفت

که جنگ وسایل تازهٔ گوناگونی پدید آورد.

مثلاً هواپیماهای بی‌خلبان جاسوسی برپایه اطلاعات به‌دست آمده در زمان جنگ، ساخته شدند و امروز می‌توانند فواصل چشمگیری دور شوند. همچنین باید از نخستین حسابگرهای الکترونی یاد کنیم که در زمان جنگ ساخته شدند و برای محاسبات توپخانه از آنها استفاده می‌شد.

در دهه‌های اخیر، جنگ ویتنام سبب شد که ممالک متحد امریکا «سلاحهای الکترونیکی» را بشدت تکامل دهد. در زیر چتر اسرار نظامی، شناخت دقیق آنچه که ساخته شده‌است ممکن نیست، اما یقین است که لابراتوارها و صنعت با تمام نیرو در این راه کوشیده‌اند و در رشتهٔ نیمرساناها، مدارهای مجتمع و نیز لیزر، که مثلاً برای هدایت بمبهای هواپیماها بر هدفهای کوچک به‌کار گرفته می‌شدند چیزهای بسیاری ساخته شده‌است.

تأثیر تحقیقات فضایی: مسابقه در تسخیر فضا که از سالهای ۶۰ بودجه‌های عظیمی را به خود اختصاص داده، بی‌تردید دستاوردهای چشمگیر و نیز نتایج علمی و فنی زیادی داشته است. دو رشته نیاز به پژوهشهای بزرگ داشته‌اند. از یکسوی همه آنچه که مورد نیاز سفاین فضایی بوده‌اند؛ از سوی دیگر، کاربردهای متعددی که توسط این سفاین، ممکن شده‌اند.

کاربردهای فضایی: یکی از چشمگیرترین پیشرفتهایی که برای تسخیر فضا لازم است گسترش بی‌پایان فواصل زیر پوشش امواج رادیویی است. همهٔ ۳۸۵۰۰۰ کیلومتری که بین زمین و ماه فاصله انداخته است، تنها طول یک کوچه را می‌ماند. موشکهایی که از نزدیکی زهره می‌گذرند و از آنجا به زمین خود باز می‌گردند اطلاعاتی را انتقال می‌دهند که با طی بیش از ۴۰×۱۰^۶ کیلومتر گردآورده‌اند. مارینرهایی که در ۱۹۷۲ مریخ را دور زده‌اند، موشکی که اتحاد شوروی [سابق] در ۱۹۷۱ روی مریخ نشانده است و وایکینگهای امریکا از ۱۹۷۶ عکسهایی از فاصلهٔ بیش از ۸۰×۱۰^۶ کیلومتر مخابره کرده‌اند. پایونیر ۱۰ که از سال ۱۹۷۳ به‌سوی کره مشتری رهسپار است، نخستین اطلاعات را دریافت داشته است[1] و در طرح «گردش بزرگ» موشک دیگری باید از زحل هم بگذرد.[2] همه‌چیز پیش‌بینی شده‌اند تا اطلاعات دریافتی، درست باشد. در این راه، توانها و آنتنها را باید بسیار کوچک گرفت، زیرا با دور شدن از خورشید، دیگر نمی‌توان از باتریهای آفتابی استفاده کرد. آنتن بسیار کوچک مسخره‌ای را به یاد می‌آوریم که بر روی تجهیزات ماه‌نشین نصب شده بود و با این حال، با آن از ژوییه ۱۹۶۹ مستقیماً با زمین ارتباط برقرار کرد. همهٔ این موفقیتها ثمرهٔ بررسیهای بسیار پیشرفته برای کارایی وسیله و مینیاتوری کردن آن است.

۱. در دوم دسامبر ۱۹۷۳ از ۱۳۰ کیلومتری مشتری گذشت و سرانجام از منظومهٔ شمسی خارج شد. ـ م

۲. پایونیر ۱ که در آوریل ۱۹۷۳ پرتاب شد، در نوامبر ۱۹۷۴ از جو زحل و بعد از منظومهٔ شمسی خارج شد. ـ م

هدایت موشکهای حتی سرنشین‌دار، کاملاً تحت فرمان است و از زمین انجام می‌گیرد. در این‌باره مدت مسیر امواج بین زمین و ستارگان مورد نظر را نباید از یاد برد. در مورد ماه این مدت ۱٫۲۵ ثانیه است، در حالی‌که برای نزدیکترین ستارگان به ما باید آن را با دقایق سنجید. زمان انتقال پیام برای فرمان از دور، تأخیری مضاعف بین مشاهده و اجرای فرمان وجود دارد که هرگز نباید آن را فراموش کرد. از این نظرگاه باید به اجراهای موشکهای خودکاری که روی ماه نشسته‌اند که یا همچون موشکهای Surveyor امریکا در ۱۹۶۶ ثابت هستند و یا مانند لوناخودهای شوروی در ۱۹۷۰ متحرک، آفرین گفت. آنها توانسته‌اند مانورهای بسیار دقیق و کاملی اجرا کنند.

کاوش روی ماه و مریخ شامل بخش بسیار مهم ارسال تصویر بود. بعضی از این تصویرها بی‌روح هستند اما با فاصله‌های زمانی بسیار کوتاهی تکرار شده‌اند. گسیل پیام با ضربه‌های رمزی با ظرافت چشمگیری انجام گرفته است. گسیلهای دیگر نوعی فرستندهٔ واقعی تلویزیونی هستند، همهٔ جهانیان گام گذاشتن فضانوردان روی کرهٔ ماه در ۱۹۶۹ را تحسین کردند. در آغاز ۱۹۶۹، شمار تصویرهای ارسالی در هر ثانیه بسیار کم بود، اما در مأموریتهای آخرین آپولو، ۱۹۷۲، ضرباهنگ گسیل عادی بود و تصاویر، رنگی فرستاده شدند.

همهٔ این تکنولوژی ضرور برای رسیدن به موفقیتهایی چنین فوق‌العاده، دارای «آثار تکنیکی» بسیار مهم برای همهٔ کاربردهای الکترونیک بوده‌اند. نخست، مینیاتوری کردن دستگاه در همهٔ اجزا تا دوربین تلویزیون رنگی قابل حمل بسیار سبک؛ سپس اعتماد به‌کار دستگاه تا آخرین درجهٔ دقت، از جمله پژوهش راه‌حلهای تعویض، چیزی که حادثهٔ مصیبت‌بار آپولوی XIII در ۱۹۷۰ آن را نشان داد. سرانجام به کار اندازی منابع تازهٔ انرژی، از قبیل باتریهای خورشیدی، پیلهای سوختی و مولدهای هسته‌ای. باتریهای خورشیدی و سلولهای فتوالکتریکی تکمیل شده، اکنون می‌توانند به مدت قابل توجهی، توانی در ردیف چند کیلووات بدهند. اینها حتی شرط انجام کار ماهواره‌های زمین پایه به‌عنوان «گمانه زنهای» اعماق فضا هستند.

این وسایل می‌توانند در نواحی بیابانی زمین آینده‌ای داشته باشند. پیلهای سوختی که بی‌تردید پایگاه اتومبیلهای برقی آینده خواهند بود پیشرفتهای لازم را برای اینکه هفته‌ها اتاقکهای آپولو را تغذیه کنند، داشته‌اند. با این همه، کاربرد آنها هنوز حالت استثنایی دارد زیرا بهای آنها برای کارهای جاری گران است. دربارهٔ مولدهای هسته‌ای جریان برق، باید گفت هنوز توان کافی ندارند، اما با این حال، بعضی ماهواره‌های کوچک را تغذیه می‌کنند. بررسی روی آنها برای کارهای دیگری نظیر محرکهای قلبی مفیداست.

کاربردها در سفاین فضایی: کاوش فضا می‌توانست در آغاز تنها مربوط به اغنای کنجکاوی علمی و بالا رفتن سطح دانش ما باشد. نخستین ماهواره‌ها در سال جغرافیایی جهانی ۱۹۵۶ ـ ۱۹۵۷ ساخته شدند. مسائل حیثیت ملی نیز مطرح بوده‌اند. اما، بی‌درنگ دیده شد که استفاده‌های عملی از آنها ممکن است. اندیشه کاربرد ماهواره‌ها به‌عنوان رله‌های ارتباطات رادیویی، نخست با بالونهای با روکش فلزی Echo در ۱۹۶۰ برای صلح عملی شد؛ قطر این بالون ۳۰ متر بود که به ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتری دست یافت. بعداً ماهواره‌های پاسخگو، دوباره فرستنده، نظیر Telstar در ۱۹۶۲ و نیز Relay در همان سال ساخته‌شدند. نتایج این آزمایشها بسیار شوق‌انگیز بود و تقریباً در همه‌جا ایستگاههای زمینی برای پیگیری و استفاده از آنها برپا شدند: در ممالک متحد امریکا Andover، در بریتانیای کبیر Goodhilly، در فرانسه Pleumeur-Bodou در آلمان فدرال Raisting و غیره . . .

اما این ماهواره‌ها در ارتفاع پایین بسرعت «رژه می‌رفتند»، عمر چندانی نداشتند و تنها مناطق محدودی را می‌پوشانیدند. یک راه‌حل میانی Molnyaهای شوروی با مدارهای بزرگتر بود. راه‌حل واقعی زمانی امکان یافت که موشکها توانستند جرمهایی چندین صد کیلوگرم را به فاصلهٔ سی و پنجهزار کیلومتری زمین پرتاب کنند. این ماهوارهٔ به‌اصطلاح زمین پایه، در هر ۲۴ ساعت یک بار زمین را دور می‌زند، به‌طوری‌که با چند حک و اصلاحی که توسط موشکهای کوچک درون آن در مسیرش اعمال می‌شود تقریباً در ارتفاع ثابتی از خط استوا باقی می‌ماند. سه ماهواره زمین پایه برای پوشش سراسر سطح جهان کافی هستند. آنها را به‌طورکلی یک سازمان جهانی، که امریکا در آن تفوق دارد، با نام Intelsat مورد استفاده قرار می‌دهد. ایستگاههای زمینی، دیگر به تعقیب سریع ماهواره‌ها نیازی ندارند. این سیستمها می‌توانند صدها یا حتی هزاران اطلاعات تلفنی و چندین برنامهٔ تلویزیونی را رله کنند. آنها گاهی دوبار رله می‌شوند. مسیر رفت و برگشتی ۷۰۰۰۰ کیلومتر، تأخیری برابر ۱/۴ ثانیه دارد که مزاحمت چندانی برای مکالمه نیست. مرحلهٔ بعدی باید پخش مستقیم تلویزیونی برای تماشاگران توسط ماهواره‌ها باشد ـ و این هدفی است که در راه رسیدن به آن هستند.

ماهواره‌ها را همچنین می‌توان برای مشاهدهٔ زمین و جو آن به‌کار گرفت. رشتهٔ نخست آن از قبل و هنوز هم هواشناسی است. در واقع هواشناسان همیشه در رویای مشاهدهٔ کل وضع ابرها در منطقهٔ گسترده‌ای از زمین بوده‌اند. ماهواره (Terrestrial Infra-Red Observation Satellite) *Tiros* ۱۹۶۰ توانست ابرها را از ارتفاع زیاد با نور مرئی و زیر قرمز عکسبرداری

کند و این اطلاعات را ذخیره و در راه به ایستگاههای زمینی مخابره کند.

ماهوارهٔ Nimbus (۱۹۶۴) و ماهواره‌های دیگری این کار را دنبال کردند. بعدها همهٔ کشورها توانستند عکسهایی از سیستمهای ابری دریافت و از آنها استفاده کنند. اما کار مشاهدهٔ زمین بوسیلهٔ ماهواره‌ها محدود به هواشناسی نمی‌شود و عملاً بررسی منابع غذایی را با عکسبرداری از رستنیها انجام می‌دهند.

کار خبرگیری ماهواره‌های ارتشی از تأسیسات دشمنان احتمالی را نیز خاطرنشان می‌سازیم. ماهواره‌های *Transit* و دیگران، در ژئودزی به‌کار گرفته شده‌اند. این دانش اخیر نیز از روش دیگری استفاده می‌کند که شامل عکسبرداری همزمان از نقاط متصل شونده توسط ماهواره‌ای است که در زمینه‌ای از ستارگان، شبکه‌ای از نقاط مرجع تشکیل می‌دهد. این ژئودزی سه بعدی، شبکه‌ای از اهرام است که جانشین شبکه‌های مثلثی شده‌است و در ۱۹۶۴ اتصال مناطق بسیار دور از یکدیگر را، برای تأمین دیده‌بانیهای مستقیم، مثلاً بین دو ساحل مدیترانه، ممکن ساخت. در این عملیات، همزمانی مشاهدات را همزمان‌سازی نقاط دور از یکدیگر با ساعتهای اتمی تضمین می‌کند.

رقابت بین قدرتها و سازمانهای جهانی: سال به سال، سرویسهای رادیو الکتریک و بویژه پخش رادیویی به امید، معمولاً واهی، اینکه کیفیت گیرندگی بهتر شود به توان فرستنده‌های خود افزودند. این روش بویژه برای پخشهای برون مرزی اعمال می‌شود. مثلاً در اروپا، فرستنده‌های پایینتر از ۳۰۰ کیلو هرتس، به‌اصطلاح امواج بلند، همگی با توان هزار تا دو هزار کیلووات مجهز شده‌اند. ایستگاههای با امواج ده‌متری نیز که در مقیاس جهانی پخش می‌کنند همین جور هستند.

اما پشت سکه، تداخلهای بسیار گوش‌خراشی برای گرفتن فرستنده‌های با بسامد نزدیک آنهاست. امواج فرستنده‌ها از نو تسلسل یافتند و برای پرهیز از تداخل، به توان آنها افزودند. و با افزایش توان، تداخل بالا گرفت. وانگهی، یونکره نیز این مشکل را با پدیدهٔ درهم‌کنش امواج، معروف به «اثر لوگزامبورک» پیچیده‌تر می‌کند ـ پدیده‌ای که نخستین‌بار به‌هنگام استفاده از ایستگاهی به این نام در ۱۹۳۴ رخ نمود. هر مسیر موجی که در شعاع معینی از فرستنده‌ای از این نوع در یونکره وارد می‌شود در آن اختلال پدید می‌آید و تحمیل پست تداخل کننده، فرستندهٔ پست تداخل شده را به‌طور درمان ناپذیری تحمیل می‌کند. این اثر به‌اصطلاح مونت‌کارلو، در گسیلهای با امواج صد و هزار متری، خود را نشان می‌دهد.

درحقیقت به نوعی اشباع در فضای هرتسی می‌رسیم. مزاحمتهای دیگری به تداخل افزوده می‌شود، اینها پارازیتها و گسیلهای کنترل ناشدنی هستند. دربارهٔ پارزایتهای طبیعی سخن رفته

است که هیچ چیز حریف آنها نمی‌شود.

اما در اثر فعالیت انسان نوع دیگری از آن پدید می‌آید. هربار که یک مدار برقی قطع می‌شود جرقه‌ای پدید می‌آید که یک فرستنده کوچک موجهای ناپایدار است. بنابراین، هرنوع کلیدی، کولکتورهای موتورها، کنتاکتهای بد زنجیرهای راه‌آهن و غیره، زایندهٔ پارازیت هستند. این «آلودگی رادیویی» در مواقعی توسط خازنها که آثار قطع را جذب می‌کنند کاهش می‌یابد، و این همان پدیده‌ای است که «ضد پارازیت» نامیده می‌شود، چیزی که مثلاً در لوازم برقی خانگی و تجهیزات اتومبیل وجودشان ناگزیر است.

طبیعی است که برای کم شدن مقدار تداخل و پارازیت، قواعد کاربرد درست وسیله را تنظیم کنند. اینها از گروه قواعد بین‌المللی هستند که کنفرانسهای جهانی ارتباطات رادیویی آنها را تعیین کرده است. مقر سازمان بین‌المللی ارتباط از راه دور که در ۱۹۰۶ ایجاد شد در شهر ژنو است. کمیته‌های مشورتی، قواعد بین‌المللی را بویژه دربارهٔ توزیع باندهای بسامدها میان سرویسهای مختلف و قواعد فنی که باید رعایت شوند، بررسی می‌کنند. این کمیته برای ارتباطات رادیویی در آغاز عنوان CCIR را داشت.

اما این کمیته نتوانست بعضی از نواقص پخش موجها و وجود پخشهای محرمانه را برطرف کند. نتیجهٔ کار آن نوعی بازگشت به‌کار برد خطوط، کابلهای هم محور و خطوط تلفنی، از جمله کابلهای زیردریا بود. ژنرال فریه که در قسمت TSF بسیار موفق بود، این شوخی را ابراز داشت: «اگر تلفن باسیم پس از تلفن بی‌سیم اختراع شده بود، آن را یک پیشرفت عنوان می‌کردند»، که اکنون به حقیقت پیوسته است. بدین‌جهت است که حتی در مورد پخشهای رادیویی و تلویزیونی، نوعی پخش با سیم برای مشترکین تجویز شده‌است.

سازمان UIT که مأموریت تنظیم قواعد بین‌المللی را دارد در زمینهٔ علمی شعبه‌ای با عنوان Union radioscientifique internationale تشکیل داده‌است. این شعبه در سال ۱۹۱۹ به ریاست ژنرال فریه تأسیس، و مقرش در بروکسل تعیین شد. این شعبه متناوباً جلسات عمومی و کنفرانس تشکیل می‌داد و کارشناسان سراسر جهان اطلاعات و تجربیات خود را با یکدیگر ردوبدل می‌کردند تا بعدها تحقیقات و مشاهدات مربوط به برنامهٔ جهانی، سازمان یافته و هماهنگ گردد.

بدین‌ترتیب، همان‌طورکه در رشته‌های دیگر دیدیم، تحول پیوسته تکنیکها، نوعی هم‌کاری گستردهٔ جهانی را که درخور ارتباطات رادیویی پوشش دهندهٔ کره زمین است، ناگزیر می‌سازد.

تحول الکترونیک

پس از پیدایش رادیو الکتریسیته، الکترونیک که کاربرد لامپهای الکترونی است، سپس نیمرساناها در رشته‌های گوناگونی نفوذ یافتند که با انتقال اطلاعات هیچ ارتباطی نداشتند.

یکسوی کننده‌ها، فزونسازها، مولدها: الکترونیک، همان‌طورکه دیدیم، نخست یکسوی کننده‌های جریان، که زاییدهٔ آشکارسازها هستند. سپس دستگاههای تغذیه با جریان متناوب گیرنده‌ها و فرستنده‌های رادیویی را تسخیر کرد. تبدیل معکوس، از مستقیم به متناوب، با نام نوسانگر، تحقق یافت. این کار، علاوه‌بر مسائل دیگر، اجازه داد که جریان مستقیم فشار ضعیف، با دخالت یک جریان متناوب، به جریان مستقیم فشار قوی تبدیل شود؛ روشی که مثلاً برای تولید فشار قوی لازم برای لامپهای کاتدی گیرنده‌های تلویزیونی به‌کار گرفته می‌شود.

خود نوسانگرهای پر بسامد، کاربردهای فراوان دارند که ربطی به انتقال خبر ندارند، بلکه ایجاد گرما می‌کنند. اگر جسمی که باید گرم شود، یک رسانا باشد، القای جریانهای فوکو در جرم آن، ایجاد گرما می‌کند. کاربردهای این کوره‌های با بسامد زیاد، بی‌شمار است و این امتیاز را دارند که هر پدیدهٔ شیمیایی خارجی را حذف می‌کند. چنانچه جسمی که باید گرم شود، عایق باشد، می‌توان با بسامدهای بسیار زیاد، با به‌کارگیری اتلافهای دی‌الکتریکی برای تولید گرما استفاده کرد. از این روش می‌توان برای کارکردن روی بعضی شیشه‌ها، جوشکاری لامپهای برق و بعضی پلاستیکها، چسباندن ورقها استفاده کرد.

از همین روش گرم کردن در بدن انسان نیز می‌توان استفاده کرد. با دیاترمی می‌توان بیماریهایی را درمان کرد. جریانهای با بسامد زیاد القایی نیز می‌توانند تأثیر درمانی داشته باشند.

ضبط صداها: بسیاری از روشهایی که در ارتباطات رادیویی به‌کار گرفته می‌شوند، کاربردهای دیگری هم دارند. مثلاً همهٔ فزونسازی کم بسامد در ترمیم صداها به کار گرفته شده‌اند. بدون اینکه از فزونسازهای میکروفونهای بلندگوها برای رسانیدن صدا و موزیک به فواصل دور یاد کنیم، تحول تکنیکهای ضبط و بازسازی صداها را یادآور می‌شویم.

در برههٔ ۱۹۲۰ ـ ۱۹۲۵ ضبط صدا روی دیسکها، که تا آن زمان با تأثیر مستقیم یک دیافراگم صوتی روی قلم حکاکی بود، برقی شد. یک موتور الکترومغناطیسی یا الکترودینامیکی، متصل به انتهای یک فزونساز، پس از میکروفون، قلم را حرکت می‌داد. پیکاپ، که یک سوزن فلزی و بعدها از عقیق یا الماس بود، با اثر گذاری روی یک سیستم مغناطیسی، دینامیکی یا پیزوالکتریکی، جانشین سیستم مکانیکی قبلی شد. مدارهای الکترونیکی برای پذیرفتن صافیهای تصحیح کننده

که کیفیت صدا را عالی می‌کنند، آماده شدند. استریوفونی نیز امکان یافت، دو حرکت مختلف سوزن، دو راه فزونسازی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

باز، در خلال سالهای ۱۹۱۹ ـ ۱۹۲۵ بود که اجرای ناطق کردن فیلمهای سینمایی آغاز شد. در ۱۹۱۰ آقای لئون گومون بر آن شد که یک تصویر افکن را با یک فونوگراف ترکیب کند، اما همزمانی آنها به‌عهدهٔ دستگاه پنوماتیک ناقصی بود. در این راه‌حل، یک قلم نوری (= شعاع پروژکتور) که تحت تأثیر صداهاست توسط عکاسی، ردّ صدا را روی خود فیلم ضبط می‌کند. این کار یا با تغییر دادن شدت یا پهنای ردّ انجام می‌گیرد. از گالوانومتر یا لامپهای درخششی هم برای این کار استفاده شده‌است که در شیارخوانی، سلولهای نورابرقی به‌کار می‌برند. راه‌حل سومی هم وجود دارد که ایجاد ردّ مغناطیسی و خواندن آن ردّ، برپایه طرز کار ماگنتوفون است.

ضبط مغناطیسی صداها روی فیلمها در سال ۱۹۰۰ توسط آقای پاولسن دانمارکی تجربه شده بود. این روش برپایه دستکاری با دوام مغناطیس پایهٔ فیلم بود که با آهنرباهای برقی ضبط کننده انجام می‌گرفت و خواندن صدا توسط آهنرباهای برقی دیگر. اما پیشرفت واقعی در این رشته در سالهای ۱۹۴۰ ـ ۱۹۴۵ یعنی زمانی بود که توانستند باندهای پلاستیکی کوچک با پوششی از دانه‌های بسیار ریز مغناطیسی جهتدار بسازند و فزونسازهای الکترونیکی، کاربرد عملی این پدیده‌ها را ممکن ساختند. سرعتهای حرکت باندها از ۲/۲۵ سانتیمتر به ۷۶ سانتیمتر در ثانیه رسید، غالباً ۵ و ۴ و ۹ بر حسب نوع کار مورد نظر. بیشترین سرعت، نتهای زیر را بهتر بازسازی می‌کرد. ماگنتوفونها در سالهای ۶۰ در نتیجهٔ ساخت دستگاههای فوق‌العاده قابل تغییر که بعضی از آنها استریو هستند و امکان ایجاد دو یا چهار ردّ صوتی روی یک باند مصرفی بوسیلهٔ معکوس کردن جهت حرکت قرقره‌ها، رواج بسیار یافتند. آخرین مرحلهٔ رونق آنها در آغاز دههٔ ۷۰ و مربوط به «کاست»ها یعنی، قطعهٔ یک پارچه‌ای که دست‌کاری آن، تقریباً خودکار است. بدین‌ترتیب، به‌یک رشتهٔ تکنیکی دارای مصرف زیاد دست یافتند.

ضبط مغناطیسی به ضبط انواع علامتها، مثلاً برای نگه‌داری آمارهای لازم برای ماشین حسابهای بزرگ گسترش یافته است.

همین‌طور «دستگاه ماگنتوسکوپ» نوعی ادامهٔ ضبط تصاویر است. علامت ویدیوئی یک دوربین تلویزیونی بر باند مغناطیسی اثر می‌گذارد، اما با در نظر گرفتن اینکه بسامدهایی که باید ضبط شوند، حدود هزار بار بیشتر از بسامدهای صوتی هستند، دیگر نمی‌توان از گسترش خطی چنین باندی استفاده کرد. باید کاوش را به‌شکل زیگزاگ در عرض انجام داد. این روش که نخست

توسط شرکت امریکایی امپکس اجرا شد در حال حاضر به چنان کمالی دست یافته است که تقریباً همهٔ برنامه‌های تلویزیونی، بدین‌ترتیب ضبط می‌شوند. از سال ۱۹۷۰ دست‌به‌کار یافتن بازاری برای این نوع دستگاهها جهت تماشاگران شده‌اند.

تلویزیون: دربارهٔ خود تلویزیون باید گفت که «در مدار بسته» بدون پخش رادیویی، کاربردهای زیادی یافته است. در صنعت، یا در بیمارستانها، امکان مراقبت محلهای دور از دسترس را ایجاد کرده است. در رادیولوژی می‌توان به‌جای صفحهٔ فلوئورسان از یک سیستم تلویزیونی استفاده کرد تا دیگر به تاریکی در جسم نیازی نباشد، و این روش، درحالی‌که حساستر است با شدتهای کمتر اشعهٔX کار می‌کند. صفحات تلویزیون مدار بسته، که در ایستگاههای عمومی حمل و نقل، مثلاً مترو، هستند تنها با یک متصدی قطار، زیر نظر داشتن حرکت مسافران روی سکوی قطار را امکان‌پذیر کرده‌اند.

میکروسکوپ الکترونی: در رشتهٔ اپتیک همیشه از یک دستگاه الکترونی جالب ـ میکروسکوپ الکترونی ـ یاد کرده‌اند. ساخت این دستگاه در سال ۱۹۱۸، چند سال پیش از بیان تئوری آن انجام گرفت. نخستین دستگاه پراتیک آن را آقایان کنول[1] و روسکا[2] آلمانی در ۱۹۳۲ ساختند. اما ساخت و کاربرد واقعی میکروسکوپ الکترونی، در چند سال پس از آن بود. در بیشتر کشورها این تأخیر تا پایان جنگ جهانی دوم ادامه یافت. این دستگاه که برپایهٔ مکانیک موجی دو بروی کار می‌کند از دسته‌های الکترونها، به‌جای اشعهٔ نوری، با همان اصول کلی عدسیها استفاده می‌کند. این عدسیها ترکیباتی از میدانهای الکتریکی یا مغناطیسی هستند.

الکترونها این امتیاز را دارند که موجهای وابستهٔ آنها، فوق‌العاده کوتاه‌تر از امواج نوری، حتی فوق‌بنفش می‌باشند و امکان می‌دهند که جزئیات بسیار ظریفتری، در ردیف مولکولی رؤیت شوند. برای تهیهٔ دقت بسیار بیشتری از الکترونها، تا MV ۳ از دستگاههایی نظیر دستگاه تولوز استفاده می‌کنند. دستگاه تولوز را CNRS زیر نظر آقای گاستون دوپویی[3] در ۱۹۵۴ ساخت و در ۱۹۷۲ به‌کار گرفته شد. دو نوع میکروسکوپ الکترونی تقریباً در یک زمان ساخته شدند: میکروسکوپ با دسته الکترونهایی که پس از گذر از شیئی طبق قوانین اپتیک کلاسیک، کانونی می‌شوند تا روی صفحه یک تصویر کلی ایجاد کنند و میکروسکوپ با دسته الکترونهایی که پیش از شیئی کانونی می‌شوند و شیئی را به‌طور سکانسی، نقطه به نقطه مطابق روندی مشابه روند حاکم بر دوربین تلویزیونی، می‌روبند.

نوع نخست که از اول آن را کنوانسیونل یا کلاسیک نامیده‌اند، نخستین میکروسکوپهای پیشرفته

1. Knoll 2. Ruska 3. Gaston Dupouy

و موجود هستند. نوع دوم، میکروسکوپ روبشی، به دلیل پیچیدگی بسیار، در آغاز به‌کار گرفته نشد. تنها پس از پایان جنگ دوم بود که در انگلستان آن را از نو مورد بررسی قرار دادند تا توان تفکیک آن را افزایش دهند و اصول ساخت آن بهتر شود. پیشرفتهای تکنیک الکترونیک، که در ضمن علامت الکترونی را هم بدون افزایش تداخل زمینه، می‌توانست تقویت کند، یعنی در مورد میکروسکوپ، روبش شیئی و تشکیل تصویر در آن رضایتبخش بود، خریدوفروش آن را در حوالی ۱۹۶۶ ممکن ساختند. دسته‌های الکترونی در برخورد با سطح نمونهٔ مورد مشاهده، علامتهای مختلفی گسیل می‌دارند، که از یکسوی ترکیبی از الکترونهاست که یک چشمک‌زن آنها را برای تشکیل تصویر روی صفحه لامپ کاتدی مستقیماً می‌رباید؛ از سوی دیگر، تشعشع X نیز با تحمل تغییراتی در مدارهای دارای آنالیزور به‌سوی لامپ کاتدی راهنمایی می‌شوند. در سال ۱۹۷۰ تعداد میکروسکوپهای روبشی فعال، حدود ۴۰۰ دستگاه شمارش شده‌اند.

میکروسکوپ الکترونی که در همه زمینه‌های تحقیقی و فنی رواج یافته است راههای تازه‌ای در شناخت دقیقتر ماده، متالورژی، حتی موجود زنده گشوده است. بزرگ‌نماییهای ۵۰۰۰۰۰ بار، قدرت معمول آن است.

شتابگرهای ذرات: یکی دیگر از کاربردهای الکترونیک، شتابگرهای ذرات هستند که به‌طور وسیعی در تحقیقات هسته‌ای به‌کار گرفته می‌شوند. به‌طور پیاپی شتابگرهای خطی و دستگاههای دور زنندهٔ اقتباس از سیکلوترون ساخته شده‌اند.

یکی از نخستین نوع شتابگرهای خطی را آقای ویدرو[1] در ۱۹۲۸ ساخت که در آن به‌طور ساده از میدان الکتروستاتیکی با ولتاژ بسیار بالای ایستا، با الکترودهایی که بدرستی توزیع شده بودند استفاده شده بود. انرژی موجود را این ولتاژ، محدود می‌کرد. در نوع قویتری که ساخت آقایان: د. هـ. اسلون[2] و ارنست اُ. لارنس در ۱۹۳۲ بود به‌جای میدان ایستا از میدان متناوب و الکترودهایی استفاده شد که پیاپی فاز آنها با سرعت ذرات تنظیم می‌شد و تغذیهٔ آنها ضربه‌ای بود. اکنون کار شتابدهی با میدانهای الکترومغناطیسی دارای بسامد بسیار زیادی انجام می‌گیرد، که توسط کلیسترونهایی تولید می‌شوند که هرکدام بخشی از شتابگر را فرمان می‌دهند. میدانهای مغناطیسی، ذرات را در مسیرهای راستخطی خود حفظ می‌کنند. شتابگر بزرگ اورسه[3] که در ۱۹۶۲ دومین شتابگر بزرگ خطی جهان بود و طول آن از صد متر تجاوز می‌کرد، الکترونهایی با بیش از 1 GeV تولید می‌کرد. شتابگری که در آغاز دههٔ ۷۰ در استنفرد امریکا ساخته شد، سه کیلومتر طول دارد و می‌تواند بیش از 40 GeV (گیگاالکترون ولت) تولید کند.

1. Widerö 2. D.H.Sloan 3. Orsay

سیکلو ترونی که در ۱۹۳۲ در برکلی توسط لارنس، برندهٔ جایزه نوبل ۱۹۳۹، و لیوینگستن[1] اختراع شد، نوعی شتابگر است که در یک میدان مغناطیسی روی خود خم شده‌است، الکترونها، مسیری مارپیچی را در هر دو الکترود نیمدایره‌ای (تربیعی) که با بسامد زیاد ضربه‌ای تغذیه می‌شوند، به تعداد نامعینی می‌پیمایند. شتاب‌گیری در فرجهٔ بین دو الکترود انجام می‌گیرد. در سنکروسیکلوترون مکمیلن، ۱۹۴۵ بسامد ولتاژهای متناوب طوری تحمیل می‌شود که ذرات در یک مسیر دایره‌ای بتدریج شتاب‌داده شوند. در سنکروترون، میدان با بسامد زیاد و میدان مغناطیسی را همزمان تغییر می‌دهند. دستگاههایی از این نوع، ابعاد غول‌آسایی دارند. شتابگری که در نوامبر ۱۹۵۹ در ژنو بوسیلهٔ مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا کارگذارده شد، ۲۰۰ متر قطر دارد و آهنرباها درصد واحد، با وزن بیش از ۳۰۰۰ تن تقسیم شده‌اند. شانزده مولد با بسامد زیاد ۶ kW پروتونها را تا بیش از ۲۵ گیگا الکترون ولت شتاب می‌دهند. در ۱۹۶۷ و ۱۹۶۸، شتابگری با ۷۰ GeV در سر پوخوف[2] واقع در شوروی [سابق] به‌کار گرفته شد و طرحی در ممالک متحد امریکا در جریان است برای اینکه در سالهای ۱۹۷۳ ـ ۱۹۷۴ سنکروترونی با ۲۰۰ GeV ساخته شود و بعداً تا ۴۰۰ GeV افزایش یابد. مدلی در آینده، قطری سه برابر خواهد داشت. وسیله‌ای برای افزایش انرژی ظاهری ذرات، شتاب‌دادن به‌آنها به دوگروهی که در جهات مخالف می‌گردند و ایجاد برخورد بین آنهاست. چنین «حلقه‌های برخورد کننده»ای در مرکز اروپایی تحقیقات هسته‌ای (CERN)[3] به‌کار گرفته شده‌اند.

چندین نوع شتابگر در لابراتوارهای بزرگ جهانی ساخته شده‌اند که متناسب با نوع ذراتی که قرار است شتابانیده شوند، هر یک از آنها خصوصیات متفاوتی دارند.

شتابگرها در اصل به لطف الکترونیک، امکان داده‌اند برای رفع نیازمندیهای تحقیقات هسته‌ای، ذرات شتاب یافته‌ای که در گذشته تنها از پرتوهای آسمانی انتظار آنها می‌رفت در دسترس باشند. نه‌تنها آنها وسایل تحقیق را گوناگون کرده‌اند بلکه روشهای کار متناسب با نیازهای فنی نظیر تولید رادیو ایزوتوپهای مصنوعی یا نابود کردن میکرواورگانیسمها از راه عقیم کردن محیط با سرما، ایجاد کرده‌اند.

اتوماسیون: اتوماسیون صنعتی، چنانچه منظور مجموعه‌ای از سیستمها باشد که کار یک ماشین را با خود آن تنظیم می‌کند، حدود دو سده است که وجود دارد. نخستین وسیله‌ای که در یک ماشین صنعتی به‌کارگرفته شد و نظم سرعت را با یک وسیله سرعت‌سنج تأمین می‌کرد، ناظم گلوله‌ای بود

1. Livingston 2. Serpukhov 3. Centre Europeen de Recherches Nucléaires

که وات در سال ۱۷۸۷ آن را به‌کار گرفت (رجوع کنید به مجلد سوم، صفحه ۸۸).

درواقع، وسایل خودکار بمنظورهای گوناگون بسیار پیش از سدهٔ نوزدهم، طرح و به‌کار گرفته شدند. آنها از وسایل هیدرولیک یا مکانیکی کمک می‌گرفتند و به‌طورکلی تنها یک وظیفه را در ماشینهای کم‌وبیش پیچیده، تنظیم می‌کردند که نمونه‌هایی از آن را در فصلهای چهار مجلد پیشین این اثر، دیدیم. کهن‌ترین دستگاهی را که می‌توان بدین وظیفه نسبت داد، مطمئناً ابزار فرار چرخ‌دنگی (ساعت) است که اثر پیوستهٔ یک نیروی محرکه را به‌کمک نوعی تعادل یک شماره‌انداز، به دوره‌های برابر تقسیم می‌کرد؛ ابزاری که در اوایل سدهٔ چهاردهم ساخته شد و نیز ابزار آونگی یا به‌شکل فنر مارپیچ در پایان سدهٔ هفدهم را می‌توان نام برد. مکانیسمهای اخیر بودند که پیشرفت زمانسنجی نوین را ممکن ساختند.

انواع دیگری از دستگاهها، تکرار یک عمل مکانیکی را با ضبط یک برنامه انجام می‌دهند، چنین دستگاههایی در طی سدهٔ هجدهم ساخته شدند. ما دیدیم (مجلد سوم، صفحه‌های ۲۶۱ تا ۲۶۷) که تسلسل نخستین تکیه‌گاههای فرمان، چگونه از چند راه همگرا برقرار می‌شود.

سدهٔ نوزدهم وسایل مکانیکی خودکاری جزیی را به‌طور چشمگیری تکامل داد. بوسترها (هدایت تشدیدی) با استفاده از بخار به همت آقای ژوزف فارکو در ۱۸۶۸ یعنی زمانی ساخته شد که وسایل الکترومکانیکی و الکترومغناطیسی، در خودکاری کاربرد زیادی یافته بودند.

در اواخر دههٔ ۳۰ مسائل خودکار شدن، در پرتوالکترونیک دستیابی به راه‌حلهای کلی را شروع کرد و رفته‌رفته هدف خود را از اتوماسیون جزئی دستگاه به مجموعهٔ آن و از یک دستگاه به همهٔ دستگاههای یک مؤسسه توسعه داد. تجربه‌ای که از مدارهای واکنش مورد استفادهٔ الکترونیک به‌دست آمد تکمیل خودکاری را بوسیلهٔ حلقه زنجیرهای معکوس امکان‌پذیر کرد. مثلاً از روشهای صفر (روشهای جبرانی یا تعادلی) استفاده می‌شد، روشی که علامت فرمان را دربرابر علامت به‌دست آمده می‌گذاشت. از سوی دیگر توانستند به پایداری کار سیستمهای خودکار، که غالباً مشکل حادی است روی آورند. چنانچه این پایداری رضایتبخش نباشد «پمپاژها» یی ایجاد می‌شود که عمل تنظیم ممکن است از نظر بزرگی و مدت نتیجهٔ مورد نظر فراتر رود. در آن زمان توانستند استهلاکی را دخالت دهند که نوسانها را از بین‌می‌برد. بررسی راه‌حلها حتی برای سیستمهای مکانیکی هم با روشهای ویژهٔ مدارهای الکترونیکی انجام گرفتند. بدین‌ترتیب بود که هر سه اصل بنیادی، اتوماسیون یک مجموعه: تکرار عملیات تولید، کنترل خودکار این عملیات، و بالاخره کار

پیوسته، به‌طور چشمگیری تکامل یافتند.

سرانجام، دستگاههای تازه‌ای در مقیاس صنعتی در طی دهۀ ۵۰ به‌کار گرفته شدند که طرح کلی آنها فلویدیک نام دارد. در فلویدیک، آثار دیواره یا آثار انحراف فورانها در نتیجۀ هوای فشرده، در نظر گرفته می‌شوند. آثار دیواره (آثار کواندا) پیش از آغاز جنگ جهانی دوم توسط کواندا کارشناس فرانسوی آئرودینامیک مورد مطالعه قرار گرفته بود. بیست سال پس از آن، آقای ر. ا. بولز[1] امریکایی در خودکارکردن صنعت، از آن استفاده کرد. انحراف فورانها در اثر هوای فشرده در تحقیقات فضایی امریکاییها و روسیها به‌کار گرفته شد. در این زمان به‌جای دستگاههای الکترونیک، که به دوام هدایت درست ماشینها بوسیلۀ آنها اعتماد نداشتند، دستگاههای فلویدیک را مورد استفاده قرار دادند. در امریکا و اروپا مؤسسات صنعتی متعددی برای تحقق بعضی خودکاریها به دستگاههای فلویدیک روی آوردند.

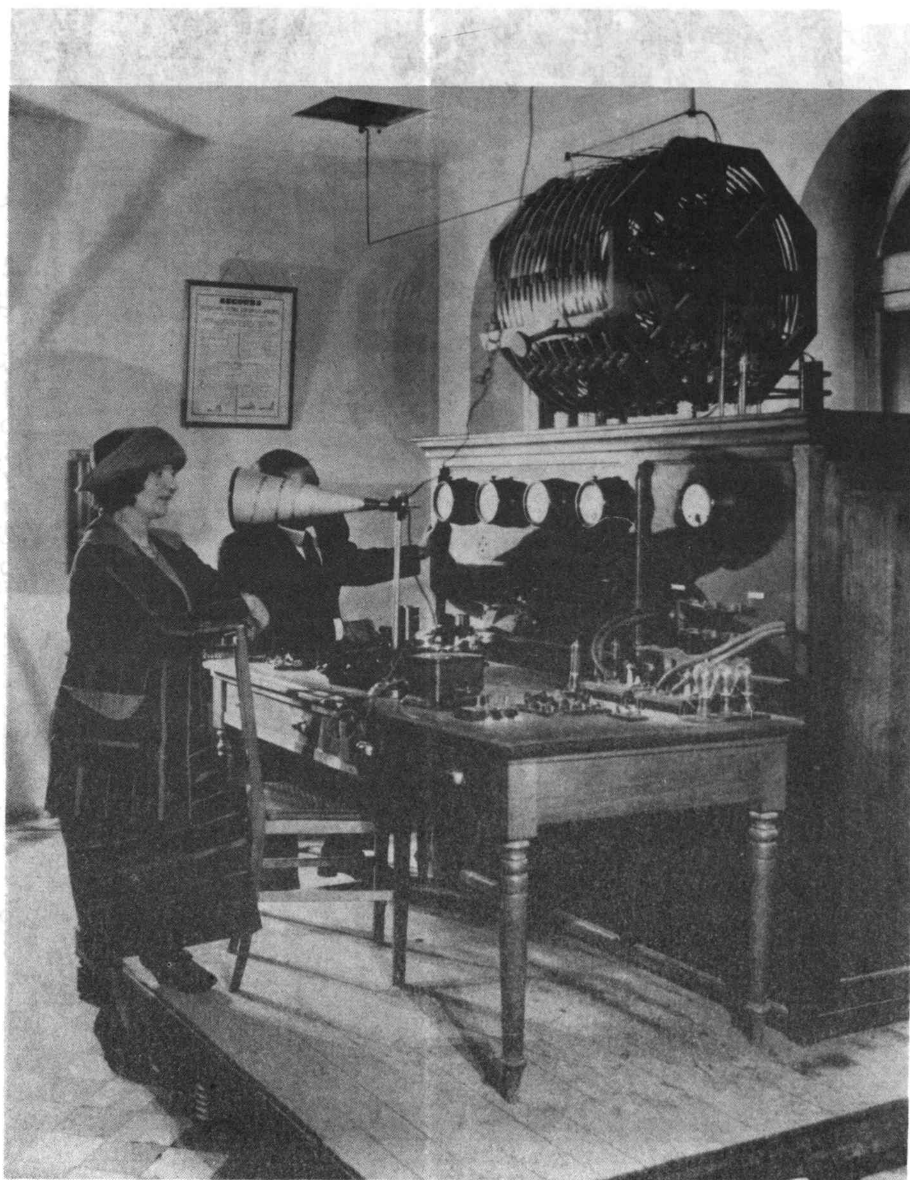
مسألۀ اتوماسیون یک مجموعۀ صنعتی در اواخر دهۀ ۴۰، زمانی‌که اصطلاح اتوماسیون در مطبوعات فنی امریکا تازه وارد شده بود، و مطبوعات غیر تخصصی نیز فوراً آن را به‌کار بردند در کلیترین برنامه‌ها ملحوظ شد. واژۀ اتوماسیون نخستین بار توسط مهندس امریکایی د.س.هاردر[2] در اواخر ۱۹۴۷ در جریان مباحثات گروهی که مأمور تحقیق در طرحهای یک کارخانه موتورسازی در کلیولند و یک کارخانه سنبۀ ماتریسکاری (قالبزنی گرم) در بوفالو جهت شرکت فورد بودند، به زبان آورده شد. این واژه فوراً مفهوم نظم تازه‌ای را در ذهنها ایجاد کرد که جنبه‌های گوناگون اتوماسیون کامل واحدهای تولیدی را شامل می‌شد.

گرچه وسایل مکانیکی، الکترومکانیکی و فلویدیکها، هوا و سیالهای گوناگون، هنوز به‌طور انبوه وارد بحث مربوط به خودکاری می‌شوند، بیشتر الکترونیک است که راه‌حلهای کلی تکیه‌گاه پیشرفت اتوماسیون را، فراهم آورده است. نوشتارهای غیر تخصصی فوراً از این واژه، یک خصیصۀ فوق‌العاده نیرومند و اسرارآمیز ارائه دادند.

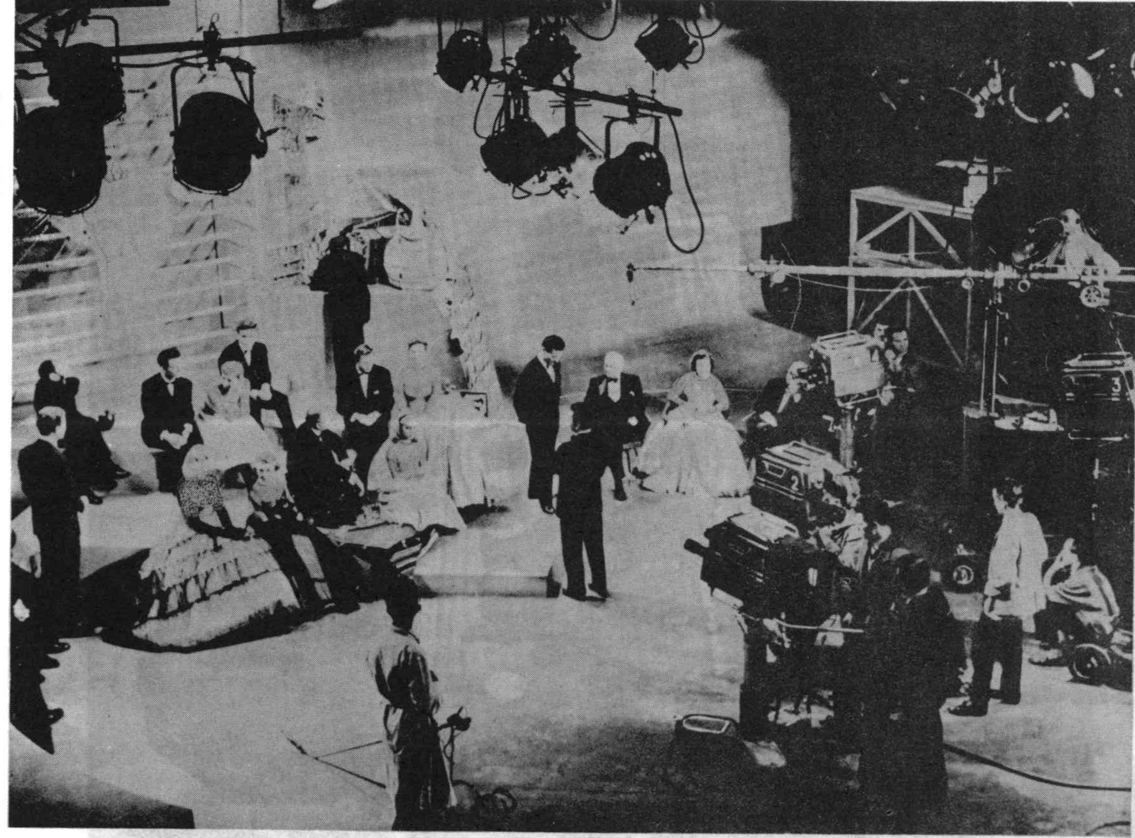
تنها سخن باقیمانده این است که از جنبۀ فنی، اتوماسیون به عامل تازه‌ای از تولید در همۀ رشته‌ها تبدیل شده‌است. شمارش همۀ کاربردهایی که این عامل درگذر بیست سال یافته است ممکن نیست، زیرا اینک، کل فعالیت بشری را دربرگرفته است. این عامل بر آن است که جای انسان را در همۀ جنبه‌های کاری و نیز در برخی فعالیتهای خانه‌داری و حتی سرگرمی بگیرد؛ انسان را از حرکات خسته‌کننده آزاد سازد؛ بویژه به وی امکان دهد که به سطحی از کارایی و دقت، بسیار بالاتر از حد توانایی خود، دست یابد.

1. R.E.Bowles 2. D.S.Harder

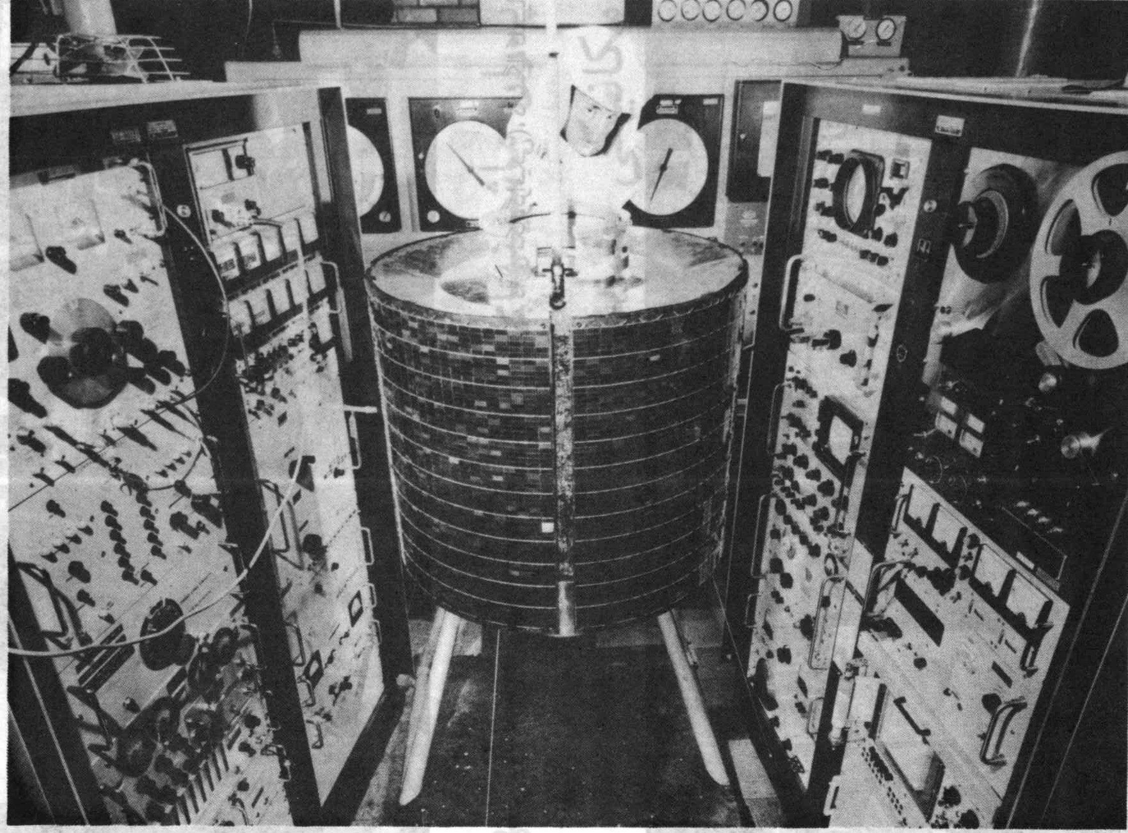
اتوماسیون از این جنبه، یک مسألهٔ اجتماعی را مطرح کرده است که به این زودیها حل نخواهد شد. متعالیترین مفهوم اتوماسیون با پیدایش و پیشرفت کامپیوترها به‌دست آمده است، رشته‌ای که مورد بحث فصل آینده است.



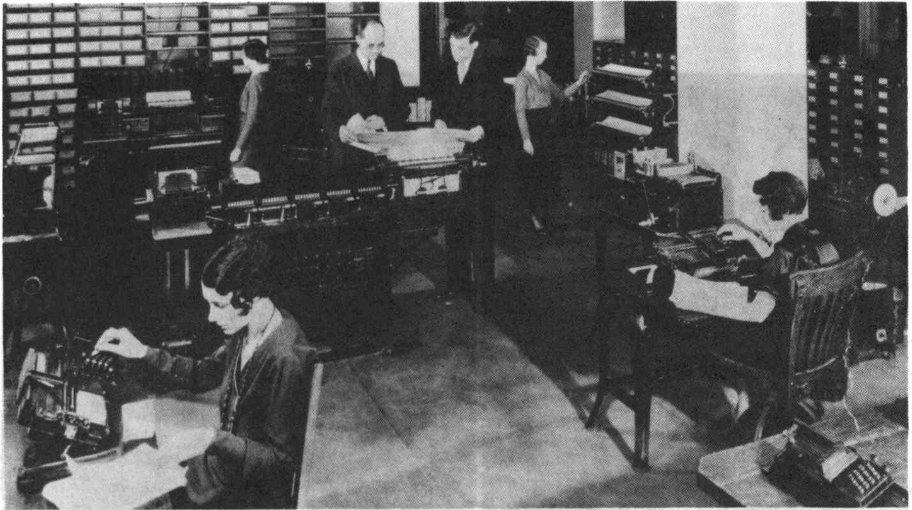
تابلوی ۱۹. خانم ایوون بروتیه در حال اجرای یک قطعه آواز از فرستندهٔ سنت آسیس در ۱۹۲۱.



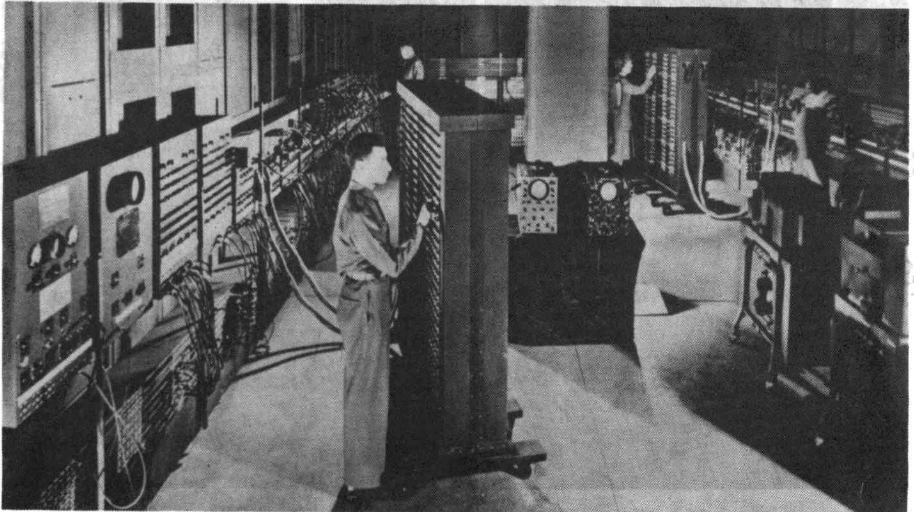
تابلوی ۲۰. استودیوی تلویزیون ژان - لویی - بارو (حدود سال ۱۹۶۰).



تابلوی ۲۱. ماهوارهٔ EARLY BIRD I برای ارتباط امریکای شمالی با اروپا (۱۹۶۵).



تابلوی ۲۲. دستگاه TRI E'LECTROME'CANIQUE (داده‌پردازی مکانوگرافیکی)، دانشگاه کلمبیا (حدود ۱۹۳۰).



تابلوی ۲۲ (مکرر). کامپیوتر رقمی ENIAC (۱۹۴۶).

۴

پدران ماشینهای کنونی حساب، ماشینهای مکانیکی حساب

در مجلد سوم (صفحه۲۵۶) با نیاکان اولیه ماشینهای مکانیکی حساب، بویژه ساختهای توماس کولمار و روت آشنا شدیم. پیشرفت ماشینهای حساب از نظر فنی بر اصولی متکی بود که در آن دو نوع ماشین به‌کار گرفته شده بودند. این رشته با اختراع دستگاههای بسیار گوناگون برای افزایش سرعت عملیات، تأمین دقت آنها و کاهش حجم ماشینها مشخص می‌شود. چنین می‌نماید که دشواریهای ساخت مکانیکی، مانع پیدایش این صنعت نوین همزمان با صنعت ساخت ماشینهای تحریر و کمی مؤخرتر از صنعت ماشینهای خیاطی، نبوده است.

جمعزنها و تفریقکنها: نکته‌ای را که باید به‌خاطر سپرد، این است که هوشمندی مخترعان و قدرت سازندگان را نباید تنها عامل موفقیت شمرد، بلکه باید در نظر داشت که کاربرد ماشین حساب در آغاز در برخی فعالیتهای روزمره وسیلهٔ تسهیل کننده‌ای بود. خرید و فروشهای جزئی در فروشگاههای بزرگ در پایان سدهٔ نوزدهم و تعدد کارهای حسابداری بودند که نخست این تقاضا را ایجاد کردند،

تقاضایی که با پیدایش ماشینهای ثبت‌کننده و صندوقهای دارای قسمت ضبط قیمتها در سالهای اولیه سدهٔ بیستم بیشتر احساس شد. در این زمان مشکلات اصلی ساخت این ماشینها، از جمله کار آنها بوسیلهٔ موتور برقی برطرف شده بودند و مقدار تولید آن بزودی توانست به این تقاضای روز افزون، پاسخ رضایت‌بخشی دهد.

نخستین ماشینهایی که برای کار صنعتی ساخته شدند، اقتباسی از سیستم روت بودند. که از چرخدنده‌های با تعداد متغیر دندانه‌ها از صفر تا ۹، مکانیسمی که در ماشین لایبنیتس وجود داشت، استفاده می‌کردند. آقای اودنر[1] روسی در ۱۸۷۸ اختراعی را در مورد دستگاه ساده‌ای به‌ثبت رسانیده بود که از دیسکهایی تشکیل می‌شد که بر یک محور افقی حمل شده بودند. روی هر دیسک نیز، دیسک لنگی موجب پیدایش یا حذف دندانه‌های متحرک می‌شد. و بدین ترتیب، شمارهٔ مورد نظر، ثبت می‌گردید. حرکت دیسکهای لنگ به فرمان میله‌هایی بود که سرهای آن از یک درپوش محدب بیرون آمده و در شیارهایی می‌لغزیدند که در طول آنها اعداد از صفر تا ۹ ثبت می‌شدند. میل‌لنگی، عمل جمع یا ضرب را با گردش در یک جهت، و تفریق و تقسیم را با گردش در جهت مخالف اجرا می‌کرد.

ماشین اودنر در آغاز دهۀ ۸۰ توسط مؤسسات متعددی و با اسامی گوناگونی ساخته شد، و حدود نیم سده، کار می‌کرد.

استقبالی که از این ماشین به‌عمل آمد انگیزهٔ نوسازی ماشین حساب توماس شد که در آن زمان بویژه توسط آقای اگلی[2] سازندهٔ سویسی با نام ماشین Madas با تکمیلهایی که عملیات تقسیم آن را با تعیین بسیار زیاد باقیمانده، ساده کرده بود کلاسیک شده بود. میل به خودکار کردن با عملیات سادهٔ مکانیکی در همهٔ ماشین‌سازان وجود داشت.

تغییر شکل بنیادی در دو دهۀ پایانی سدهٔ نوزدهم ایجاد شد که یکی کاربرد کلیدهایی برای ثبت شماره‌ها بود که بتدریج جانشین سیستم لغزه‌های خطی توماس یا جابه‌جایی نیمدایره‌ای اودنر شد. آقای دور ا. فلت[3] امریکایی در حدود ۱۸۸۰، نخستین کسی بود که طرح گذاشتن کلیدها را، که در آن زمان در ماشین تحریر وجود داشتند، برای ماشین حساب به‌کار گرفت. با زدن کلید، یک اهرم خمیده حرکت می‌کرد؛ این اهرم حامل میلهٔ خمیدهٔ دندانه‌داری بود که در موقعیت برگشت، یک چرخ ضامندار را با خود می‌کشید.

این چرخ دارای ثباتی بود که با فشار ساده روی شستی، شمارهٔ دلخواه را در جای ثبت قرار می‌داد. صفحهٔ کلیدها از صفر تا نه ستون شستی داشت تا شماره‌های مورد نظر را برای تشکیل

1. Odhner 2. Egli 3. Dorr E. Felt

اعدادی که عملیات باید روی آنها انجام گیرد، وارد کند . مدلهای اولیه، هشت ستون داشتند که امکان می‌داد تا رقم هشتم وارد شوند، اما مدلهای ساختِ ۱۹۳۰ جای بیست رقم را داشتند.

آقای فلت نخستین اختراع خود را در ۱۸۸۷ به‌ثبت رساند، سپس با همکاری آقایِ تارنت[1] به تولید صنعتی ماشین خود دست زد. در آغاز، این ماشین، تنها یک جمعزن بود، اما با افزودن بعضی وسایل مکانیکی، پس از مدت کوتاهی، از انجام دادن چهار عمل اصلی برمی‌آمد.

سیستم انتقال از یک ستون به‌دیگری در این ماشین مثل دیگر ماشینهای آن زمان، کامل شده بود و آنها پیاپی از یک ستون به‌ستون دیگر، به اصطلاح از «آتش ردیف» می‌گذشتند، اما نه به‌طور همزمان برای همه ستونهایی که به ۹ رسیده بودند ـ چیزی که در اصل، نقص عمدهٔ ماشین پاسکال و ماشینهای متعدد دیگری بود که از آن اقتباس شده بودند.

کار ثبت ارقام، نخستین بار در ماشین حساب فلت و تارنت دیده شد و طبعاً بسرعت به دیگر مدلهای ساخت این دهه‌ها سرایت کرد. در ۱۸۸۵ در ممالک متحده امریکا، شرکت ملی فروش صندوقهای ثبت‌کننده تأسیس شد، که در این رشته برای نخستین بار مشتریان فراوان یافت.

ماشینهای ضرب‌کننده: همهٔ ماشینهای حسابی که از آنها سخن گفتیم، اساساً برای جمع و تفریق بودند. دو عمل اصلی دیگر را با تکرار این دو عمل انجام می‌دادند. دستگاههای مکانیکی گوناگون و بسیار جالبی، کار دست را آسان و سریع ساختند، اما سیستم جمعزنی یا تفریق پیاپی، از بین نرفت.

نخستین دستگاه ضرب‌کننده را در سال ۱۸۸۹ آقای لئون بوله طراحی کرد و آن را ساخت. خانوادهٔ وی سازندهٔ اتومبیلهای Mans بودند. قطعهٔ اصلی آن یک صفحهٔ افقی بود که تعدادی میله‌های فولادی به‌طور عمودی روی آن نصب شده بودند. طول این میله‌ها در تناسب با یکدیگر حساب شده بود تا اینکه مجموعهٔ آنها جدول فیثاغورس را تجسم بخشند و حاصل‌ضربهای دو عدد را بدهند. این دستگاه دارای ده عدد از این صفحه‌ها بود که قادر به‌حرکات گوناگونی بودند. انتهای میله‌ها روی میله‌های دنده‌داری عمل می‌کرد که با چرخدنده‌های قطعهٔ جمعزن درگیر می‌شدند. پس از ثبت اعداد، کافی بود که دسته را برای هر عدد مضروب فیه، در ضرب، یا خارج قسمت، در تقسیم، یک بار گرداند تا نتیجه به‌دست آید.

آقای لئون بوله، نمونهٔ دومی از ماشین ضرب‌کننده را در ۱۸۹۲ ساخت. این ماشین یک سیستم ضامن داشت که پس از به‌دست آمدن نتیجه، کار را متوقف می‌ساخت؛ سیستمی که از آن پس در همهٔ انواع ماشین حسابهای مکانیکی وارد شدند. اما این ماشینها به‌علت سنگینی زیاد،

1. Tarrant

کاربرد زیادی نیافتند. از سوی دیگر، بوله که قصد فروش آنها را نداشت به این دو نمونه بسنده کرد. جالب است که بدانیم که از ماشین دیگری، که کمی پیش از این ساخته شد، تنها یک نمونهٔ باقیمانده و آن ماشین حساب روسی اختراع چبیشف[1] در ۱۸۸۱ بود. این یک ماشین جمعزن ـ ضرب‌کننده بود که اصول کار آن با ماشین بوله تفاوت داشت، اما کار پیوستهٔ آن دارای همان مزایا بود.

با این حال، فکر تجسم جدول فیثاغورسی کمی پس از وی توسط استایگر[2] از نو به میان آمد و آقای اگلی سویسی آن‌را با مارک **میلیونر** مورد استفاده قرار داد، این ماشین حساب تا سالهای ۱۹۵۰ به‌عنوان ضرب‌کنندهٔ پربازده رواج فراوان داشت.

حسابگر خودکار: در همین اوان، مبتکران متعددی به ساخت ماشینهایی روی آوردند که بتوانند حسابهای پیچیده‌تر از چهار عمل اصلی را انجام دهند. و جذر اعداد را بیابند. از آقای هنری ببج در مجلد سوم (صفحهٔ ۲۶۰) نام بردیم و کمی پس از این بازهم از کارهای او یاد خواهیم کرد. در اینجا تنها تذکر می‌دهیم که اصل محاسبهٔ تفریقی برای تنظیم جدولهای عددی کم و بیش پیچیده، که ببج در حل مکانیکی آن می‌کوشید، به ساخت ماشینهایی انجامید که پس از ماشین آقایان گئورگه و ادوارد شنتس[3] سوئدی در ۱۸۵۳، از سال ۱۸۷۰، در نوع ماشینهای ویبرگ سوئدی و گرنت[4] امریکایی رواج فراوان یافت.

بعدها، بررسیها برای ساخت ماشینهایی که محاسبات کم و بیش پیچیده را انجام دهند بشدت ادامه یافت. بهترین نمایندهٔ این تمایل، در طی سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۳۰ آقای لئوناردوتورس ی کویئو[5] بود که دربارهٔ وی در آینده سخن خواهیم گفت.

پیدایش ماشینهای الکترونیکی حساب

نخستین ماشینهای الکترونیکی رقمی؛ در پایان دههٔ ۴۰ این سده ساخته شدند. سازندگان آنها، اکثراً فراموش کرده بودند که تقریباً همهٔ قسمتهای اصلی این ماشینها را آقای چارلز ببج در بیش از یک سده پیش کشف کرده بود.

ماشین تفاضلی: این ریاضیدان انگلیسی در واقع از سال ۱۸۲۱ به امکانات مکانیکی شدن محاسبه و ثبت جدولهای ریاضی دل بسته بود. وی با موفقیت دستگاه کوچکی ساخت که آن را $differenceEngine$ (ماشین تفاضل) خواند، که می‌توانست به‌طور خودکار مقادیر پی در پی تابعهای جبری ساده را با استفاده از روش تفاضلات متناهی، بیابد. این کار سبب شد که برای

1. Tche'bichef 2. Steiger 3. Schentz 4. Grant 5. L. Torres y Quevedo

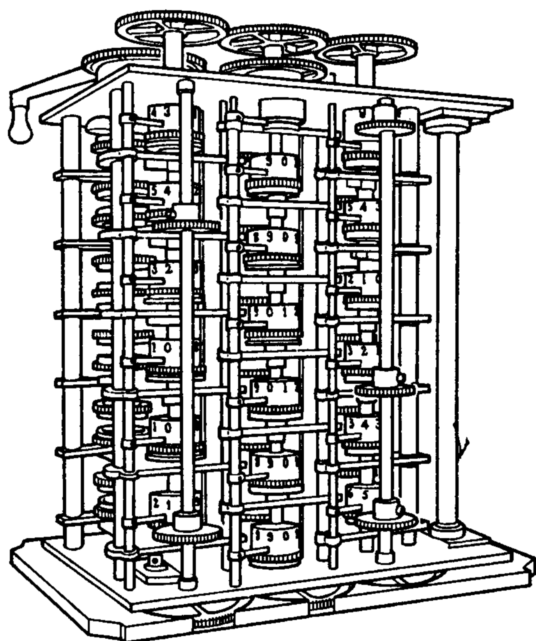
طرحریزی ماشین مهمتر و به‌دست آوردن کمکهای مالی از دولت انگلستان تشویق شود.

در طی دوازده سال پس از آن، ببج و دولت بودجهٔ چشمگیری برای ساختن «ماشین تفاضل» وی هزینه کردند. اما این طرح که مستلزم ساخت شش مکانیسم برای جمعزنی مرتبط بود، که هر یک بتواند دو عدد اعشاری چند رقمی را جمع زند و مجهز به مکانیسم ثبت خودکار باشد نسبت به امکانات فنی آن روزگار، بسیار جلوتر بود. فکر کرده بودند که کوششهایی که برای ساخت ماشین تفاضلی انجام می‌گیرد می‌تواند به‌طور کامل به‌پیشرفتهای تجهیزات مکانیکی آن زمان و فوت و فن به‌دست آمده تکیه کند.

هر چند که نقشه‌های ببج برای ساخت ماشین تفاضل کمی پیش از وقت بود، نمایهٔ کلی آن، در سال ۱۸۴۳ معلوم شد؛ در این زمان از کارهای آقایان گئورگه و ادوارد شنتس اطلاعاتی به‌دست آمد، آنان پیش‌نمونهٔ یک ماشین تفاضل را ارائه داده بودند، که کار آن رضایت بخش بود (شکل ۶۶).نوع قطعی این مدل، ده سال بعد با پشتیبانی مالی دولت سوئد به‌پایان رسید. چندین ماشین دیگر تفاضل در دهه‌های بعد ساخته شدند، اما آنها هرگز اهمیت این ماشینهای حساب رایج را نیافتند و در دههٔ ۱۹۲۰ که ماشینهای ضرب ساخته شدند، آشکار شد که آنها هم می‌توانند مانند ماشینهای تفاضل به‌کار گرفته شوند.

با این حال، افکار ببج بزودی از محدودهٔ طرح یک حسابگر خاص فراتر رفت، زیرا تقریباً در همان زمان شروع کار برای ساخت ماشین تفاضل، به‌محدودهٔ آن رضایت نمی‌داد. بویژه وی امید داشت که بتواند با طفره رفتن از تفاضلهای مراتب بالا به‌عنوان مقدار ثابت، از این ماشین تفاضل برای توابع غیرجبری به‌همان خوبی توابع جبری استفاده کند. آقای ببج در ۱۸۳۴ روی این مسائل و نیز، تقسیم و سریع کردن مکانیسم جمعزنی برای انتقال حاصل جمع از یک ستون‌به‌ستون دیگر، بشدت به‌کار پرداخت. وی چندین روش بسیار جالب را مطرح ساخت که مبلغ ستونها را به‌حساب می‌آورد، اما صرفه‌جویی به‌دست آمده از زمان به بهای پیچیده‌تر شدن چشمگیر مکانیسمها بود. امتیاز ببج در ساخت این ماشین، داشتن یک مکانیسم تنها و متمرکز ریاضی به نام آسیا the mill بود که جدا از محورهای ارقام figure axes قرار داشت؛ یعنی ستونهایی از دیسکها که به‌طور ساده نقش مخزنها را دارند نه کار انبار کردن.

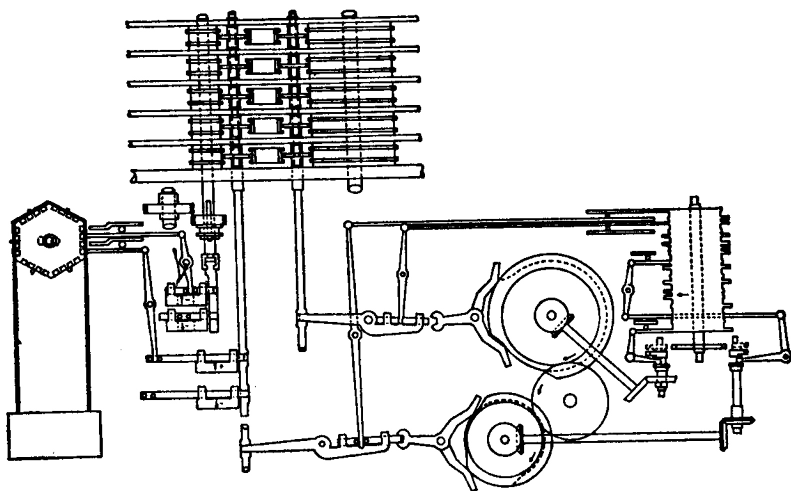
ماشین تحلیلی: نخستین طرح ببج برای فرمان دادن مکانیسمهای گوناگون تشکیل‌دهندهٔ این ماشین، به‌کار گرفتن استوانه‌های گردان *barrel* دارای خارهای فلزی از نوعی بود که مدتها در جعبه‌های موزیک خودکار مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در آغاز، وی اندیشید که از یک مجموعه



شکل ۶۶.نمایهٔ ماشین تفاضل ببج.

استوانه‌های فرعی گردان استفاده کند که همگی از یک استوانهٔ مرکزی بزرگ مجهز به خارهای قابل تعویض با یکدیگر فرمان بگیرند. با این‌همه، در ماه ژوئن ۱۸۳۶ با به‌کارگرفتن مکانیسمی ازکارتهای سوراخدار ـ از نوعی که در دستگاه بافندگی ژاکار وجود داشت به‌جای استوانهٔ مرکزی، که فضاگیر وکم خاصیت بود ـ انتخاب قطعی خود را کرد (شکل ۶۷).بدین‌ترتیب، وی قطعهٔ فرمولبندی‌کننده $formulae$ یعنی قطعه‌ای را ساخت که نشان می‌داد که عمل ریاضی در توان ماشین، می‌تواند تقریباً تا بی‌نهایت گسترش یابد، و اینکه به‌آسانی می‌توان از یک فرمول به‌فرمول دیگر انتقال یافت.

معمولاً کارتها ـ فرمولها، که هر کدام ویژهٔ یک عمل ریاضی هستند، در مکانیسمهای ژاکار، به‌طور سکانسی (با توالی) خوانده می‌شوند، اما آقای ببج در نظر داشت وسایلی بسازد که به‌کمک آنها، این سکانس یا توالی، درکارت اولی یا درکارت بینابینی شکسته شود؛ و نیز، گزینش کارت مورد نظر را برحسب نتایج ناتمامی که ماشین به‌دست داده بود ممکن سازد. این وسایل به وی



شکل ۶۷.نمایهٔ ماشین تحلیلی ببج که نشان می‌دهد، در چپ: مکانیسم سکانسی که به فرمان کارتهای ژاکار عمل می‌کند؛ در راست: استوانه‌ای که خارهای فلزی آن به سکانسها فرمان می‌دهند.

امکان داد که ادعا کند که محاسبهٔ پیچیدگیهای زیاد را می‌توان با کنترل یک عدد نسبتاً کوچک کارت ـ فرمول انجام داد.

ببج یک بار اندیشید که دستگاه حافظهٔ پایداری، لااقل به‌اندازهٔ هزار ردیف از اعداد داشته باشد، که هر کدام بتواند حامل یک عدد رمزی با ۴۰ رقم اعشاری باشد و برای خواندن اعداد روی کارتها و وارد کردن آنها در حافظه و نیز برای سوراخ کردن و چاپ مقادیر اعدادی که در حافظه هستند به‌کار گرفته شوند. حرکت اعداد بین Millها و حافظه، به فرمان سکانسی از کارتهای متغیر است که هر کدام، ردیف ارقام مطرح را معین می‌کنند. در نتیجه، یک عمل حساب که محاسب باید از حافظه استخراج کند و نتیجه آن در حافظه ثبت شود، توسط یک کارت عملیات و چندین کارت تغییرپذیر معین خواهد شد.

وی صریحاً پیشنهاد کرد که انواع گوناگون کارتهای فرمان در سکانسهای جدا از یکدیگر ردیف، و با مکانیسمهای گوناگون ژاکار خوانده شوند.

بدین‌ترتیب، در گذر تقریباً سه سال، آقای ببج به‌طرح حسابگر رقمی همه‌جانبهٔ شامل حافظه،

یک واحد ریاضی، کارتهای سوراخدار در قسمتهای ورودی و خروجی و یک مکانیسم فرمان سکانسی کارتها دست یافت که تکرار و شاخه‌زنی مشروط[1] را ممکن می‌ساخت. در پایان می‌توان گفت که وی به تکمیل این ماشین ادامه داد، و گرچه بعدها آن را تحلیلگر نامید (چون طرح آن را اساساً برای ساخت جدولهای ریاضی می‌دانست) از امکانات پیشرفت آن در آینده، درک روشنی داشت. در این دستگاه که هدف آن از میان بردن محدودیت عملیات و تغییرپذیری کارتهای هدایت‌کنندهٔ ماشین بود، شاخه‌زنی مشروط پیچیده بر پایهٔ سکانسهای ساده در آن آسان بود؛ عمل ورود و خروج در آن، خودکار شده بود و عملیات ریاضی، با دقتهای متفاوت؛ وی اعلام کرد.

که: «... چنین می‌نماید که تمام شرایطی که به یک ماشین محدود امکان محاسبات گستردهٔ غیرمحدود را می‌دهند، در این تحلیلگر وجود دارد ... من بی‌پایانی فضا را، که شرایط مسأله مقتضی آن است، به بی‌پایانی زمان تبدیل کرده‌ام».

سهولت کار ماشین تحلیلی که مستلزم سکانسهای کارتهای جدا اما مرتبط به یکدیگر است و مفهوم برنامه‌ای بودن، آنطور که اکنون با آن آشنا هستیم در توضیحات آن روزگار این ماشین بروشنی دیده نمی‌شد. با این حال، روشن است که ببج آشکار را فهمیده بود که اطلاعاتی که روی کارت سوراخ شده است و به ماشین فرمان می‌دهد، خود می‌تواند توسط یک دستگاه خودکار دستکاری شود ـ مثلاً وی می‌گفت که خود ماشین تحلیلی در تهیهٔ سکانسهای طویل کارتهای فرمان به کار گرفته شود. در شرحی که لیدی لاولیس[2] با نظر ببج از ماشین تحلیلی نوشته است، بعضی عبارتها می‌توانند نشان دهند که طرحریزی این ماشین برای توانایی کامل در دستکاری کمیتهای جبری و نیز عددی بوده است.

احتمال می‌رود که ببج می‌دانست که ساخت ماشین تحلیلی کامل ممکن نیست، اما وی بیشتر باقیماندهٔ عمرش را در طرحریزی و طرحریزی مجدد مکانیسمهایش گذراند. تحقق رؤیای وی در گرو پیشرفت نوعی تکنولوژی سراپا نو، و فرا رسیدن عصری بود که منابع تکنیکی و مالی چشمگیر مورد نیاز ساخت یک ماشین خودکار حساب در دسترس باشند، یا لااقل نیاز به داشتن چنین ماشینی تا حدود زیادی احساس شود.

ببج یک سده از زمان خود جلوتر بود، زیرا همان‌طور که یکی از پیشاهنگان سازندگان ماشین حساب رقمی الکترونیکی نوین نوشته است: «ببج در محیطی سرشار از مفاهیم منطقی و معماری سیستمها متحول می‌شد که با آن مأنوس بود و راه حل مسائلی را که در طی صد سال بعد در

۱. نوعی دستور کامپیوتری که یکی از دو یا چند نشانی دستور بعدی را، بر اساس خاصیت یک عبارت رقمی نتیجهٔ دستور قبلی، مشخص می‌سازد.ـم.

2. Lady Lovelace

نوشتارهای تخصصی مورد بحث قرار گرفتند، در دست داشت».

وی در ۱۸۷۱، درحالی‌که مجموعهٔ مفصّلی از طرحها و اسناد صنعتی از خود به یادگار گذاشته بود، با جهان وداع گفت؛ اما تنها بخش کوچکی از این ماشین تحلیلی، مشتمل بر مکانیسمهای جمع و چاپ آن آماده شده بود؛ که هنری ببج فرزند وی ماشین را به‌طور کامل به پایان رسانید. این ماشین و نقشه‌های صنعتی ببج، اینک در ساینس میوزیم لندن نگهداری می‌شوند.

پیروان بلافصل ببج: چند سال پس از مرگ ببج، هنری، پسروی، ساخت ماشین حساب مکانیکی را بر پایهٔ نقشه‌های پدرش برای به اصطلاح mill، ماشین تحلیلی به اتمام رسانید. این کار در ۱۸۸۸ آغاز شد و به‌طور متناوب ادامه یافت. وی تنها در سال ۱۹۱۰ توانست کار را تمام کند، این زمانی بود که آسیا، که مکانیسمی برای چاپ بدان افزوده شده بود، در نشست جامعه پادشاهی اخترشناسان ارائه شد.

اما در این تاریخ، ماشین یکی از بازماندگان کمتر سرشناس چارلز ببج عرضه شد. ماشین این شخص که یک حسابدار ایرلندی غیر معروف، به نام پرسی لادگیت[1] بود بسیار پیشرفته بود. آقای لادگیت ساخت ماشین خود را در ۱۹۰۳ در سن بیست سالگی بر اساس طرحی کاملاً جدید برای عمل کردن روی اعداد دهدهی شروع کرده بود. اعداد دهدهی را به‌جای اینکه در زاویهٔ یک چرخدندهٔ دایره‌ای نمایش دهد، کنار یک خط‌کش فلزی لغزنده، نشان می‌کرد. عمل اصلی مورد نظر وی، ضرب بود که نیاز به مکانیسم پیچیده‌ای برای محاسبهٔ هر دو رقم نتیجهٔ ضرب دو رقمی داشت. این طرح شامل تبدیل این ارقام به لگاریتمهای آنها، جمع لگاریتمها و بالاخره، تبدیل معکوس آنها به‌مجموع دو عدد بود. این طرح با همه طرحهایی که در ماشینهای اولیهٔ مکانیکی حساب عمل می‌شدند، و حتی با طرحهایی که بعدها برای این کار ارائه شد، تفاوت داشت ــ هرچند که با استفاده از جدول ضربهای داخلی، ماشین حسابهای گوناگونی ساخته شده بودند. نخستین این ماشینها، همان‌طور که دیدیم، ساخت لئون بوله در ۱۸۸۹ بود. مشکل بتوان در آن، مزیتی نسبت به‌طرح لگاریتمی لادگیت یافت، گرچه طرح بوله، مکانیسمهایی را تداعی می‌کند که در ماشینهای گوناگون حساب در دهه‌های بعد، رعایت شده‌اند.

تفاوتهای موجود میان طرحهای ببج و لادگیت در ماشینهای مکانیکی رقمی چنان زیاد هستند که در گفته‌های لادگیت مبنی بر اینکه تا پیش از مراحل نهایی کار، هیچ اطلاعی از ماشینهای ببج نداشته است، تردید نمی‌توان کرد. احتمال می‌رود که لادگیت در مراحل پایانی در طرح مکانیسمهای کنترل سکانس از ببج الهام گرفته باشد. وی در این قسمت به‌طور ناشیانه‌ای به سیستم ببج گرایش

1. Percy Ludgate

یافته بود و مجموعه‌های عملیاتی جداگانه و کارتهای تغییرپذیری ساخته است. این ماشین را تنها یک نوار کاغذی سوراخدار کنترل می‌کرد که هر سطر نمایندهٔ دستوری شامل یک رمز عملیاتی و چهار نشانی بود. فرمانها به‌طور ساده، با کشیده شدن نوار از شماره ویژه‌ای از سطرها، به جلو یا عقب، منتقل می‌شدند. وانگهی، وی همچنین مکانیسمی را مطرح کرد که اکنون آن را زیر برنامه‌ها می‌گویند، که از ردیفهایی سوراخ در حاشیهٔ استوانه‌های ویژه تشکیل می‌شوند. یکی از این استوانه‌ها، عمل تقسیم را ممکن می‌سازد. با صفحهٔ شستیها نیز می‌شد به ماشین فرمان داد؛ یک نوار سوراخدار، محصول جانبی این عملیات، تکرار خودکار این سکانسهای عملیات دستی فرمانها را ممکن می‌ساخت.

آقای لادگیت فکر می‌کرد که ماشین تحلیلی وی بتواند دو عدد بیست رقمی را در مدتی حدود ده ثانیه در یکدیگر ضرب کند. این ماشین، بر خلاف ماشین ببج، قابل حمل بود. اما وی امیدی نداشت که روزی بتواند ماشین خود را بسازد، تنها خودش در مواقع فراغت به آن می‌پرداخت. وی در ۱۹۲۲ مرد. حتی اگر هم در آن زمان نقشه‌های این ماشین تحلیلی وجود داشتند، امروز دیگر از آنها اثری هم نیست. اطلاعات ما از ماشین وی، کاملاً بر پایهٔ توضیحات نوشتهٔ خود اوست.

محقق دیگری که، با دنبال کردن راه ببج، شهرتی به‌هم رسانید و در مسائل مربوط به تعریف یک ماشین تحلیلی کار کرده است، آقای لئوناردوتورس‌ی‌کویتو می‌باشد. وی در ایالت سانتاندر اسپانیا در ۱۸۵۲ تولد یافت و گرچه مهندس شهرسازی بود، زندگی را در تحقیق علمی سپری می‌کرد و بویژه به تهیهٔ طرح و ساخت انواع شگفت‌انگیز وسایل خودکار و ماشینهای حساب علاقه داشت؛ بویژه در فرانسه و اسپانیا پرآوازه بود؛ رئیس فرهنگستان علوم مادرید شد و پس از مرگش در ۱۹۳۶ یکی از پژوهشکده‌های علمی اسپانیا به نام او خوانده شد.

آقای تورس نخست روی حسابگرهای تمثیلی (قیاسی)، مانند دستگاههای تحلیلگر تفاضلی و انتگرالگیر کار می‌کرد. وی در اوایل سالهای ۱۹۰۰ توانست دستگاههای فرمان موجی را بسازد، که یک اژدر یا یک کشتی به تناسب تعداد ضربه‌های دریافتی، می‌توانست سرعت و جهت معینی را در پیش گیرد، و پرچم کشوری را در یک کشتی در ارتفاع دکل بالا و پایین ببرد. در ۱۹۱۱ نخستین شطرنج خودکار را ساخت که در پایان شاه و رخ در یک طرف، شاه طرف دیگر را مات می‌کردند. این دستگاه، کاملاً خودکار بود و گیرنده‌های برقی، محل مهره‌ها را نشان می‌دادند و یک دست مکانیکی آنها را جابه‌جا می‌کرد. دستگاه دوم خودکار او در ۱۹۲۲ ساخته شد، که آهنرباهایی در زیر صفحهٔ شطرنج، قطعات را جابه‌جا می‌کرد. در همهٔ این دستگاهها وی در جست‌وجوی

تسهیلات جدیدی بود که تکنیکهای الکترومکانیک می‌توانستند ایجاد کنند و با کسانی که محدودیت این تکنیکها را خاطرنشان می‌کردند، می‌جنگید.

تحلیلگر ببج به‌نظر وی یک ضد تکنیک مهم و جالب بود و در ۱۹۱۴ مقاله‌ای نوشت که در آن طرح تفصیلی مجموعهٔ الکترومکانیکی ویژه‌ای بیان شده بود که در آن دستگاههایی برای خزینه کردن، مقایسه و ضرب اعداد وجود داشت؛ و بدین مناسبت بحثی دربارهٔ آنچه که اکنون، ممیز (اعشاری) شناور نامیده می‌شود، درگرفت.

وی کاربرد این دستگاهها را برای طراحی ماشین حسابی که طبق برنامه کارکند، نشان داد. این برنامه، مناطقی از یک جسم رسانای برق، در سطح یک طبلک گردان بود و شامل شاخه‌زنیهای مشروط ویژه‌ای می‌شد.

آقای تورس هرگز قصد ساختن ماشینی برپایهٔ این اطلاعات را نداشت؛ اما شش سال بعد وی حسابگری ساخت که از یک ماشین تحریر فرمان می‌گرفت و از آن، نخست برای اثبات این ادعا استفاده کرد که ساخت یک ماشین الکترومکانیکی، عملی است. در واقع با وجود اینکه وی تحلیلگری را طرح کرد و بخش زیادی از آن را: قطعات رقمی (دیجیتال) گوناگون شامل دو ماشین حساب، ماشینی برای سنجش دقیق و خودکار، و نیز ماشینی که نقشی مشابه ماشین Nim را داشت تهیه کرد، هرگز یک ماشین تحلیلگر نساخته است.

با این حال، چنین می‌نماید که وی می‌توانست در صورت وجود تقاضای کافی، یک ماشین کاملاً تحلیلی بسازد. وی می‌بایست در انتظار جنگ جهانی دوم باشد تا تقاضا برای ماشینهای بزرگ و خودکار حساب، و محیط لازم برای تغییر طرح ببج، واقعاً ایجاد شود.

اما پیش از این دوره، کوشش بسیار گسترده‌ای لااقل برای تهیهٔ طرح یک ماشین تحلیلی انجام گرفته بود. آقای لویی کوفینیال[1] فرانسوی که اساساً میل به‌کاهش خطاها در محاسبات عددی وی را برانگیخته بود، دامن همت به کمر زد. وی ازکارهای ببج و تورس بخوبی اطلاع داشت، اما برخلاف طرحهای آنها، وی در ۱۹۳۶ کاربرد نمایش دوحالتی‌اعداد را پیشنهاد کرد. موقعیتهای دو حالتی اعداد خزینه شده، توسط موقعیت جانبی مجموعه‌ای از میله‌های موازی تحت فرمان آهنرباهای برقی، نمایش داده می‌شد. عملیات ریاضی را شبکه‌ای از رله‌ها انجام می‌دادند و همهٔ ماشین به فرمان نوارهای سوراخدار عمل می‌کردند.

آشکار است که آقای کوفینیال با کمک شرکت لوگاباکس[2] برای ساختن این ماشین تصمیم جدی گرفته بود، اما گویا به‌علت جنگ، هرگز نتوانست آن را بسازد. پس از جنگ ، وی مأموریت

1. L. Couffignal 2. Logabax

یافت که طرح یک ماشین حساب الکترونیکی را توسط انستیتوی بلز پاسکال تهیه کند، بررسی جزئیات این طرح و ساخت آن به شرکت لوگاباکس واگذار شد.

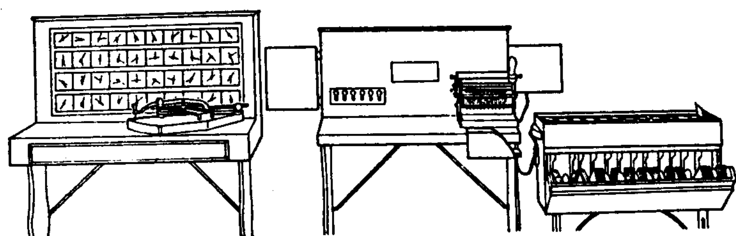
با نقشه‌های پیش از جنگ کوفینیال، سلسلهٔ مستقیم حسابگر ببج گویا به پایان رسید. اکثر طرحهای ماشینهای حساب زمان جنگ، آشکارا طوری بودند که گویا نمی‌دانستند که اکثر دشواریهای کار را آقای ببج در یک سدهٔ پیش برطرف کرده است. اما در مواردی بسیار روشن است که آشنایی با کار ببج بر پیشاهنگان زمان جنگ اثر گذاشته بود؛ که از آن جمله می‌توان از هوارد ایکن، پدر ماشین Automatic Sequence Controlled Calculator و ویلیام فیلیپس، یکی از نخستین علاقمندان به حساب در مبنای دو، و چند نفر مؤثر دیگر نظیر آقایان: ونیوار بوش[1] و ل. ج. کامری[2] نام برد.

ماشینهای شمارنده با کارتهای سوراخدار: محور دیگری از فعالیت، که در آغاز کاملاً جدا بوده است و منجر به‌پیشرفت ماشینهای نوین حساب شد، با اختراع سیستمهای جدولبندی با کارتهای سوراخدار شروع شد. امکانات تجهیزاتی آقای هرمان هولریث که در آغاز به‌طور وسیعی برای سرشماری ملی ممالک متحدهٔ امریکا در ۱۸۹۰ به‌کار گرفته شد، بسرعت به‌طور چشمگیری افزایش یافت. کارتهای تجهیزات اولیه شامل اطلاعات دوحالتی‌نمایش‌دهندهٔ پاسخهایی به پرسشنامه سرشماری بودند. این کارتها را می‌شد یک‌به‌یک توسط ماشینی که از طریق الکتریکی جای سوراخها را شناسایی می‌کرد، جدولبندی نمود و این ماشین را برای شمارش عدهٔ کارتهای آماده شدهٔ دارای سوراخهای ویژه یا ترکیب مخصوصی از سوراخهای منگنه شده، به برق اتصال داد (شکل ۶۸). وانگهی، مجموعه‌ای از حجره‌های عمودی که در مجموع با قسمت خواننده و ورودی خودکار متصل بودند امکان می‌دادند که کارتها را به‌تعدادی سکانسهای مجزا از یکدیگر، با دست تفکیک کنند.

مکانیسمهای خودکار آماده‌سازی کارتها، در طی ده سال پیشرفتهای فراوان داشتند از جمله: افزایش سرعت عملیاتی ماشینها و ماشینهای جمعزنی؛ امکان جمع کردن رقمهای اعشاری که روی کارت سوراخ شده‌اند. این سیستم بزودی در سرویسهای حسابداری سازمانهای گوناگون بازرگانی به گستردگی به‌کار گرفته شد و در همین حال به‌طور روزافزونی برای جدولبندیهای آماری در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفت.

پس از برگزاری سرشماری سال ۱۹۰۰ در ممالک متحده امریکا، روابط هولریث و دفتر سرشماری به‌هم خورد و دفتر سرشماری برای سال ۱۹۱۰، خود دست به‌کار ساخت تجهیزات مورد نیاز شد. شخصی که مأمور این کار شده بود، جیمز پاورز[3] نام داشت که طرح هولریث را طوری

1. Vannevar Bush 2. L. J. Comrie 3. J.Powers



شکل ۶۸.سیستم جدولبندی برقی هولریث (Hollerith).
سمت چپ : دستگاه جدولبند قابی که روی میز گذاشته شده است، سوراخ‌کننده؛ وسط : خوانندهٔ کارتها با مدارهای موجود در پشت صفحهٔ حائل و قابهای کوچک؛ سمت راست: تفکیک‌کننده‌ای که خانه‌های آن توسط نوارخوان، به‌طور الکتریکی باز شده‌اند. کارت با دست در خانهٔ بازگذاشته شده است. مخزنهای کارتهای تفکیک شده، در جعبه‌های پایینی جمع شده‌اند.

تغییر داد تا وسیله‌ای داشته باشد که کارتها، به‌طور مکانیکی خوانده شوند. وی امتیاز اختراعات خود را حفظ کرد و شرکت خود را تشکیل داد که بعدها، در ۱۹۲۷ در Remington-Rand ادغام شد. آقای هولریث در ۱۹۱۱، شرکت خود را که با نام Tabulating Machine Company در سال ۱۸۹۶ تأسیس کرده بود، کمی پس از ادغام با دو شرکت دیگر برای تشکیل CTRC یا Computing Tabulating-Recording Company فروخت. این شرکت که از ۱۹۱۴ به مدیریت آقای تامس ج. واتسن[1] فعالیت می‌کرد در سال ۱۹۲۴ به International Business Machines Corporation: IBM تغییر نام داد.

در طی سالهای ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ سیستمهای کارتهای سوراخدار، منظماً تکامل یافتند، این کار که بدون شک، مرهون انگیزهٔ رقابت سازندگان، نه تنها در ممالک متحد امریکا، بلکه انگلستان هم بود که در آن، سیستم هولریث و پاورز، هنوز با نام مخترعان آنها بفروش می‌رسیدند، درحالی‌که در فرانسه، سازندهٔ سومی، شرکت ماشینهای بول[2] نیز فعالیت زیادی داشت. دست‌درکاران این پیشرفت، متأسفانه، به‌طور کلی مقالات فنی ننوشته‌اند و اطلاع تودهٔ مردم از کارهای آنان بسیار کم بود.

بدین‌ترتیب، برای ارزیابی کامل سهم مهندسانی، نظیر ج. و. برایس[3]، یکی از ثمربخشترین مخترعان زمان ما در توسعهٔ IBM، باید در انتظار تحلیلی از اختراعات وی بود. از دستاوردهای گوستاو

1. Thomas J. Watson 2. Bull 3. J. W. Bryce

توشک[1]، مهندس خودآموختهٔ وینی اطلاعات بیشتری داریم. تعداد ۲۰۰ اختراع ثبت شده در زمینهٔ ماشینهای حساب به نام وی است. او که در Rheinische Metall-Und Maschinenfabrik کار می‌کرد یک ماشین حساب الکترومکانیکی با کارتهای سوراخدار را طرحریزی کرد و آن را ساخت. اختراعات دیگر وی که بسیاری از آنها در زمانی‌که وی در سالهای ۳۰ با IBM قرار داد داشت به‌ثبت رسیده است، همچنین شامل یک «ماشین حساب‌خواننده و نویسندهٔ نوار» بود که سلولهای نورا برقی در ورودی آن، حروف چاپ شده را با شابلونهای روی فیلم عکاسی مقایسه می‌کردند؛ و نیز تعداد زیادی وسایل خزینه کردن ارقام روی ورقهایی از فولاد مغناطیسی، و یک ماشین حساب الکترومکانیکی که بویژه جهت بانکهای کوچک طرحریزی شده بودند و می‌توانستند بیش از ۱۰۰۰۰ حساب را نگاهداری کنند.

جدول‌نویسهای چاپ‌کنندهٔ سالهای ۱۹۳۰ می‌توانستند حدود ۱۰۰ کارت در دقیقه آماده کنند و بعضی از بهترین آنها، در هر دقیقه ۴۰۰ کارت را عمل می‌کردند. این ماشینها با فرمان تابلوهای بسیار پیچیده‌ای از مدارها کار می‌کردند، اما محاسبات ریاضی و منطقی مربوط به سکانسهایی از عملیات بسیار مشکل، با تکرار آماده‌سازی دستهٔ کارتها، زیر نظر مسؤول ماشین انجام می‌شد.

بمنظور افزایش امکانات کاری سیستمهای کارتی سوارخدار، چندین آزمایش با اتصال مجموعهٔ ماشینهای مستقل از یکدیگر، به‌عمل آمد. سیستمی از این نوع، ماشین Synchro-Madas است که شامل یک حسابگر، و یا یک ماشین‌تحریر و یک ماشین‌حساب خودکار و بالاخره یک سوراخ‌کنندهٔ خودکار کارتهاست. این قطعات طوری متصل شده‌اند که مسؤول ماشین، از پشت ماشین تحریر خود، با یک فرمان می‌تواند چندین عمل را در ماشینهای گوناگون اجرا کند.

می‌توان سیستم دیگری را نام برد که از یک مجموعه ماشینهای کارتی مرتبط به‌هم ساخته شده است که با وجود تفاوت زیاد، در طرح و اندازه، با ماشین Synchro-Madas بسیار جالب است. این نوع حسابگر با فرمان از دور است که در یک فروشگاه پیتسبورگ، در اواسط دههٔ ۳۰ مورد آزمایش قرار گرفت. حدود ۲۵۰ پایانه از طریق خطوط تلفنی با ۲۰ جدولبند یا سوراخ‌کنندهٔ کارتهای پاورز، و ۱۵ ماشین تحریر، اتصال برقی دارند. پایانه‌ها اطلاعات برچسبهای سوراخدار فروش را جهت داشتن آمار فروش و بعداً جهت صورت خرید به‌مشتریان انتقال می‌دادند. دستگاه پایانه‌ها ـ ماشینهای تحریر، برای اجازه نامه‌های اعتبار به‌کار می‌رفتند. حداکثر معاملات پیش‌بینی شده، نه هزار در ساعت بود.

1. G. Tauschek

کارتهای سوراخدار و کارهای علمی: حتی در طی سالهای ۲۰، سیستمهای با کارتهای سوراخدار، نه تنها در حسابداری یا تهیهٔ آمارها، به‌کار گرفته می‌شد، بلکه همچنین برای محاسبات آماری بسیار پیچیده هم مورد استفاده قرار می‌گرفتند. مهمترین کاربرد علمی سیستمهای کارتی را آقای ل. ج. کامری در ۱۹۲۹ عملی ساخت. آقای کامری تا سال ۱۹۳۶ مدیر کل Bureau de l' Almanach کشتیرانی بود و در آنجا دایرهٔ محاسبات علمی را ایجاد کرد. وی کارشناس کاربرد ماشین حساب تجارتی در مقاصد علمی شد و تجهیزات هولریث را در سازمان خود وارد کرد. محاسبات وی دربارهٔ خط سیر ماه که با سوراخکاری نیم‌میلیون کارت ملازمه داشت، عدهٔ زیادی از دانشمندان را برانگیخت تا از امکانات سیستم کارتهای سوراخدار استفاده کنند.

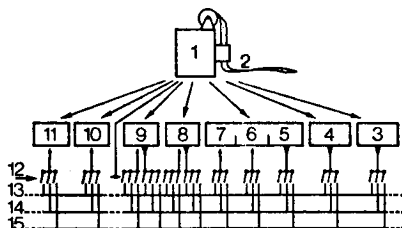
یکی از این دانشمندان آقای والیس ج. اکرت[1] اخترشناس دانشگاه کلمبیا بود. شرکت IBMدر ۱۹۲۹ به وی ماشینهایی جهت یک لابراتوار آمار اهدا کرده بود که مشتمل بود بر «ماشین حساب آماری»؛ یک ماشین حساب کارتی، که برای شخص وی ساخته شده، و پیش‌نمونهٔ ردیف ۶۰۰ ماشین سوراخ‌کننده ـ حساب‌کنندهٔ IBM شد، و مکانیسمهایی بود که بعدها در ماشین Mark 1 هاروارد به‌کار گرفته شدند. آقای اکرت با کمک IBM در ۱۹۳۴ یک لابراتوار حسابداری علمی در بخش اخترشناسی کلمبیا ایجاد کرد ـ لابراتواری که بعدها دفتر محاسبات اخترشناسی تامس ج. واتسن شد.

اکرت بمنظور ساده کردن کاربرد تجهیزات کارتهای سوراخدار، مکانیسم فرمان متمرکز را ساخت که به یک جدولبند رقمی، یک سوراخ‌کنندهٔ جمعزن و یک سوراخ‌کنندهٔ حسابگر به‌طوری متصل شده بود و می‌توانست دور کوتاهی از عملیات گوناگون را با سرعت زیاد انجام دهد. این مکانیسم فرمان که به‌نوعی کموتاتور کاسه ساچمه‌ای مجهز بود، شمار فراوانی محاسبات را ممکن می‌ساخت: چند راه حل معاملات دیفرانسیل، حتی به‌طور خودکار در آن یافت می‌شدند.

آقای ونیوار بوش در مقاله‌ای که در ۱۹۳۶ منتشر کرد دربارهٔ امکان سیستمی از ماشینهای کارتی مرتبط با یکدیگر سخن رانده است که یک مکانیسم سکانسی معمولی بدان فرمان می‌دهد و شباهتهای عمدهٔ چنین سیستمی با نقشه‌های ببج برای ماشین تحلیلی خود مشهود بود. آقای بوش در این زمان بخاطر کارش روی نخستین ماشین تحلیلی تفاضل شهرت بسیار به‌هم رسانیده بود و در زمان جنگ، سمت مهمی به‌عنوان مدیر دفتر امریکایی پژوهشهای علمی و توسعه را داشت.

وی در جریان جنگ برای ساختن سیستمی از ماشینهای با کارتهای سوراخدار مرتبط با یکدیگر، در انستیتوی ریاضیات کاربردی مدرسه عالی تکنیک‌دار مشتات آلمان آزمایشهایی انجام

1. Wallace J.Eckert



شکل ۶۹.نمایهٔ مجموعه‌ای از ماشینهای مرتبط به یکدیگر؛ که از یک نوار فرمان می‌گیرند، و در انستیتوی ریاضیات کاربردی‌دار مشتات ساخته شده‌اند.
۱. مکانیسم کنترل؛ ۲. نوار سوراخدار؛ ۳. دومین مولد تابع؛ ۴. اولین مولد تابع؛ ۵، ۶، ۷. واحدهای ضرب، که در زیر نتیجه ۵ به یکدیگر مرتبط شده‌اند، فاکتور دوم (۶)، فاکتور اول (۷)؛ ۸. دومین ثبّات؛ ۹. اولین ثبّات حافظه؛ ۱۰، ۱۱. مکانیسمهای چاپ؛ ۱۲. قطع‌کنندهٔ انتقال؛ ۱۳، ۱۴، ۱۵. مجاری انتقال I و IIو III.

داد. برنامه‌های وی شامل مرتبط کردن جدولبندها و ماشینهای ضرب کنندهٔ استاندارد هولریث و ماشینهای تقسیم و مولدهای تابع بود که بویژه با به کار گرفتن نوعی مکانیسم فرمان سکانسی به‌کمک نوار سوراخدار ساخته شده بود (شکل ۶۹).

کار روی این طرح، پس از یک حملهٔ هوایی سخت در سپتامبر ۱۹۴۴ کنار گذارده شد. با این حال، در این زمان در ممالک متحده امریکا، سازندگان تجهیزات با کارتهای سوراخدار، برای استفاده از اطلاعات فنی کوششهای فراوان کردند.

ماشین Mark-I هاروارد، ساخت هوارد ایکن: ادامهٔ این کوششها در ۱۹۳۷ با پیشنهاد آقای هوارد ایکن از دانشگاه هاروارد برای ساخت یک ماشین حساب علمی بزرگ، با مرتبط کردن مجموعه‌ای از ماشینهای با کارتهای سوراخدار، بر پایهٔ یک تابلو فرمان، پایان گرفت. این ماشینها طوری شاخه‌زنی می‌شدند تا بتوانند انتقال عددی[1] و نظم عملیات ریاضی را دنبال کنند.

آقای هارلو شپلی[2]، مدیر رصدخانهٔ هاروارد، ایکن را از تأسیس تجهیزات با کارتهای سوراخدار والیس ـ اکرت در دانشگاه کلمبیا مطلع ساخت. این تماسها به ایکن کمک کرد تا مؤسسه IBM را راضی به‌تشکیل یک گروه مطالعاتی و ساخت ماشینی بر پایهٔ نقشه‌های ابتکاری خود سازد. از طرف IBM آقای ج. و. برایس، آقایان س. د. لیک[3]، ف. ا. همیلتون و ب. م. دورفی[4] برای عضویت در

۱. هر کمیتی که عملیات روی آن انجام گیرد یا نتیجه عملیات ریاضی باشد.ـم.
2. Harlow Shapley 3. C. D. Lake 4. B. M. Durfee

این گروه معرفی شدند. ایکن بعدها پذیرفت که این سه مهندس به‌عنوان همکار مخترع در ساخت Automatic Sequence Controlled Calculator یا با نام دیگر Mark I-Harvard (نامی که این مجموعه بدان شهرت یافت) باشند.

این ماشین در لابراتوارهای توسعهٔ IBM در شهر اندیکت[1] ساخته شد و در خدمت آزمایشهایی در ژانویه ۱۹۴۳ـ پیش از آنکه به هاروارد برده شود و در آنجا در ماه مه ۱۹۴۴ به‌کارگرفته شودـ‌قرار گرفت. در ماه اوت همان سال، IBM از طریق شخص تامس. ج. واتسن به هاروارد اهدا شد. و در آنجا نخست برای کارهای محرمانه مربوط به کشتیرانی امریکا مورد استفاده قرار گرفت.

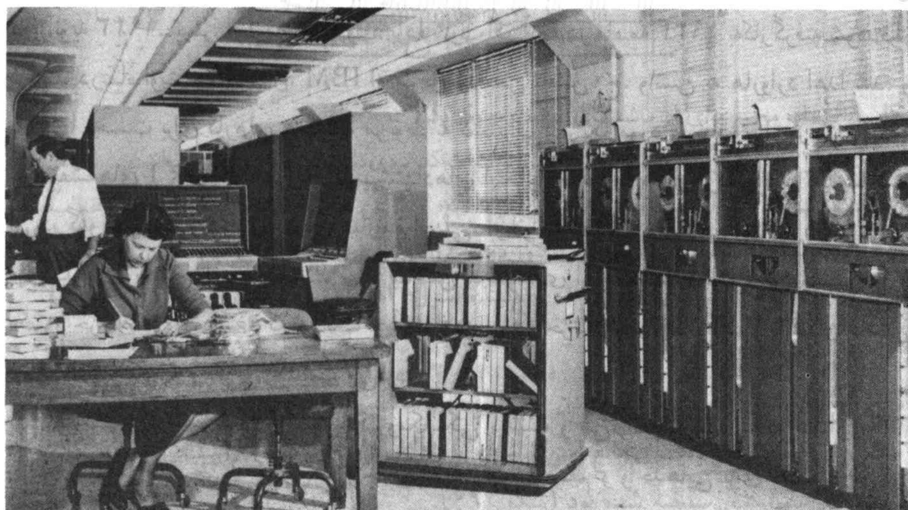
نقشه‌های Mark I به‌طور دقیق پیشنهادهای ابتکاری ایکن را دنبال کرده بودند، اما ساخت آن در گرو تهیهٔ شمار زیادی اجزای سازندهٔ اصلی، از انواع مختلف تجهیزاتی بود که در آن زمان برای کارتهای سوراخدار می‌ساختند نه با ساختن مجموعه‌ای از ماشینهای کامل، این ماشین، ۷۲ «کنتور خزینه‌سازی» داشت که هر یک از آنها، همزمان در خزینه کردن اطلاعات و به‌عنوان ماشین کامل برای جمعزنی و تفریق خدمت می‌کرد.

هر کنتور، ۲۴ چرخ برای کنتور الکترومکانیکی داشت و می‌توانست یک عدد اعشاری ۲۳ رقمی را با علامت خزینه کند. یک واحد ویژه ضرب / تقسیم و واحدهایی برای به‌دست آوردن مقادیر پیش از محاسبهٔ توابع، روی نوار سوراخدار خزینه شده بودند، و درونیابی آنها را ممکن می‌ساختند، همراه با قسمتهای ورودی ـ خروجی نظیر دستگاههای خواننده و سوراخ‌کننده، با ماشینهای تحریر. مکانیسمهای گوناگون و کنتورهای چرخدار، جمله توسط تنها یک چرخدنده که به سیستمی مکانیکی متصل می‌شد هدایت و همزمان شده بودند؛ این سیستم تقریباً همهٔ طول ماشین حساب را می‌پوشانید.

یک مکانیسم فرمان سکانسی، شامل یک دستگاه خوانندهٔ نوار سوراخدار، کار ماشین را کنترل می‌کرد. در هر ردیف نوار سوراخدار، می‌توانستند سه گروه هشت سوراخی با نام گروههای A،B و C داشته باشند. دستورکار چنین بود: «عددی از واحد A تعیین کنید و عدد دیگر را در واحد B، نتیجه را در C بگیرید.» جالب است که وقتی از آشنایی ایکن با کارها و نوشته‌های ببج مطلع شدند، گفته شد که، برای شاخه‌زنی مشروط هیچ چیز پیش‌بینی نشده بود. چنین امکانی زمانی بوجود آمد که نوعی مکانیسم فرمان با سکانس کمکی در هاروارد ساخته، و در ماشین گذاشته شد.

ماشین Mark I دستگاه بزرگی به‌طول ۱۱ متر بود که به‌شکل باشکوهی ساخته شده بود. این ماشین با بخش بزرگ مکانیکی، سرعت کاری نسبتاً کمی داشت، مثلاً یک عمل ضرب با آن،

1. Endicott



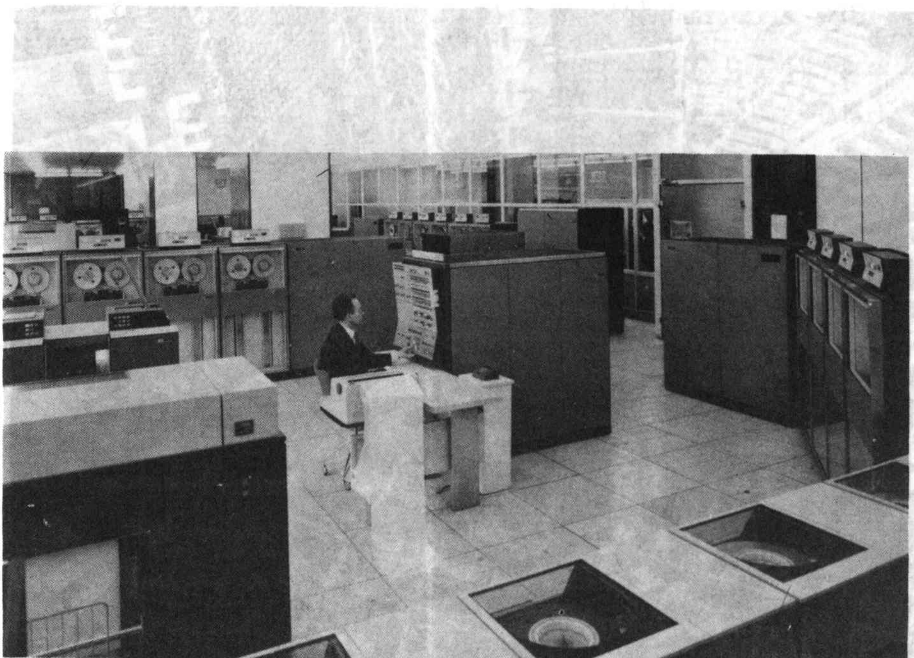
تابلوی ۲۳. کامپیوتر UNIVAC (۱۹۶۰).

شش ثانیه زمان می‌گرفت؛ اما همین ماشین تا ۱۹۵۹ در هاروارد کار می‌کرد.

این ماشین در تاریخ حسابگرها، مقام مهمی دارد، هر چند که این عقیدهٔ ظاهراً خدشه ناپذیر، که آن را نخستین حسابگر برنامه‌دار جهان می‌دانست، زمانیکه جزئیات کارهای آقای کنراد تسوزه[1] آلمانی در طی جنگ جهانی دوم فاش گردید، خدشه‌دار شد. این ماشین همچنین سرآغاز مرحلهٔ مهمی به سوی درگیر شدن کامل IBM در ساختن حسابگرهای همه جانبه است، و با ساخت ENIAC و ردیفی از لابراتوارهای بل تلفن، شروع پیشرفت حسابگرهای امریکا را نشان می‌دهد.

رله‌های برقی و الکترونیک نسلها: آقای ایکن و IBM پس از ساخت Mark I هر یک به‌راه خود رفتند. ایکن که هنوز نسبت به کار پایدار اجزای الکترونیکی سرشار از بدبینی بود، برای ساختن Mark II هاروارد از رله‌های الکترومغناطیسی استفاده کرد؛ این ماشین با نوار سوراخدار هدایت می‌شد، و یک حافظه درونی داشت که می‌توانست حدود صد عدد با ممیز شناور را خزینه کند.

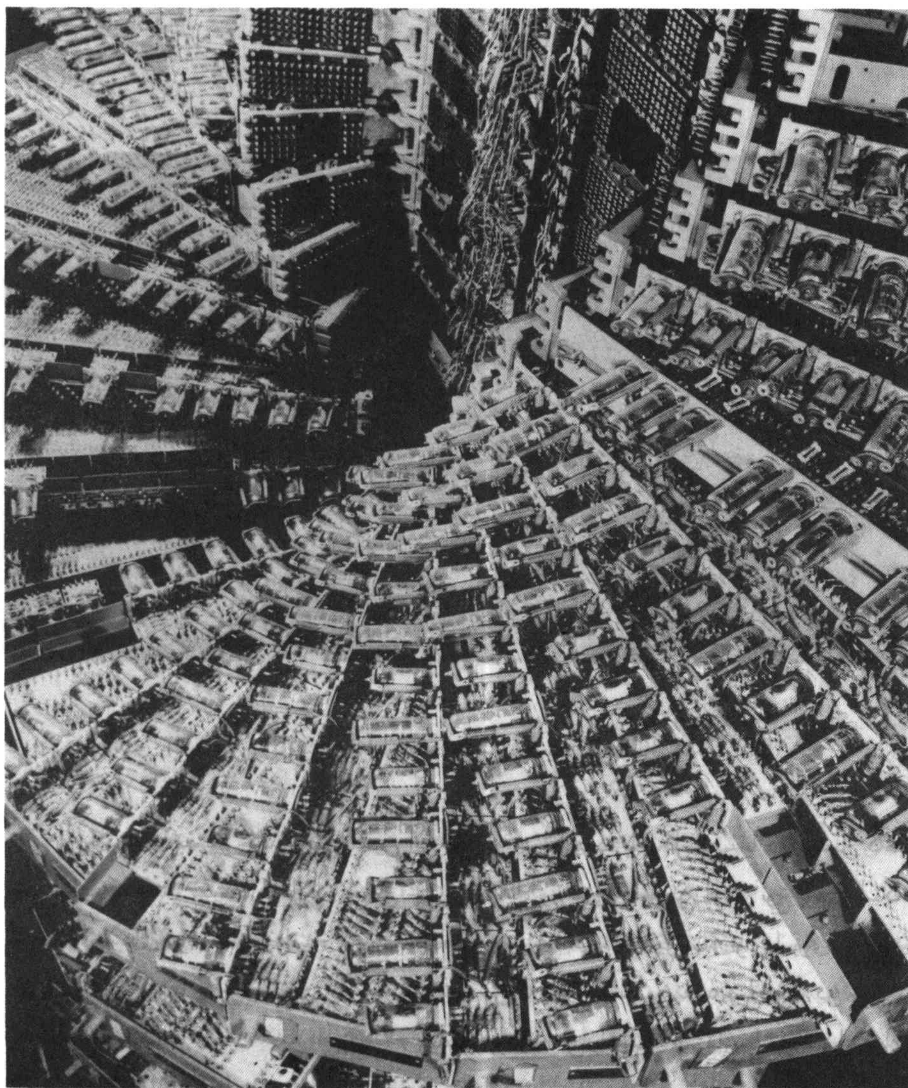
1. Konrad Zuse



تابلوی ۲۳ (مکرر). کامپیوتر با مدارهای مجتمع و فریت؛ IBM 360-40 (۱۹۶۴).

یکی از جنبه‌های بسیار جالب این ماشین این بود که می‌توانست به‌شکل یک یا دو ماشین کاملاً جدا از هم کار کند. سیستم کامل آن شامل چهار دستگاه ورودی ـ خروجی از هر نوع بود: دستگاه خوانندهٔ نوارهای برنامه‌ها، خوانندهٔ نوارها ـ داده‌ها و سوراخ‌کننده‌ها، خوانندهٔ نوارها برای تابعهای عددی و دستگاههای چاپ‌کننده. این ماشین همچنین دارای امکانات متعدد ریاضی، دو جمعزن و چهار ضرب‌کننده (مدت عمل ضرب ۰٫۷ ثانیه) بود که می‌توانستند همزمان باشند. طراحیهای تفصیلی این ماشین که ویژهٔ دریانوردی امریکا در دالگرین[1] واقع در ویرجینیا بود در آغاز ۱۹۴۵ در هاروارد آغاز شد و در ۱۹۴۷ ماشین به‌پایان رسید. ایکن و همکاران وی پس از این کار، دست به‌کار ساختن Mark III شدند که نوعی حسابگر الکترونیکی دارای حافظه با طبلک مغناطیسی بود، که در ۱۹۵۰ به‌پایان رسید، آنگاه به Mark IV روی آوردند که ۲۰۰ ثبات با جابه‌جایی بوسیلهٔ حلقه‌های مغناطیسی داشت و در ۱۹۵۲ ساخته شد.

1. Dahlgren



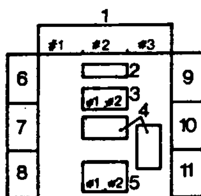
تابلوی ۲۴. قسمتهای کامپیوتر 60 و GAMMA ساخت شرکت بول (Bull) (۱۹۶۰).

معماران‌ماشینهای جدید IBMاز قبیل Pluggable Sequence Relay Calculator یا PSRC عبارت بودند از آقایان: س. د. لیک و ب. م. دورفی که متعلق به‌همان گروه سازندهٔ Mark I بودند، اما این ماشین بیشتر به ماشینهای اولیه و سوراخدار IBM شباهت داشت تا Mark I؛ این ماشین مثل سوراخ‌کننده‌ها، به‌جای نوار سوراخدار با طول نامحدود از یک تابلو با سکانسهای اعلان شونده (تابلو مدارها) فرمان می‌گرفت. سرعت سیکل پایه، به لطف ساخت آن، که از رله‌هایی استفاده می‌کرد بسیار بیشتر از سرعت Mark I بود، گرچه نرمش کاری و سهولت برنامه‌ای شدن Mark I را نداشت؛ این عیب، نوعی برنامه‌سازی تفصیلی سکانسهای موازی را ناگزیر می‌ساخت ـ کاری که اکنون در برنامه‌سازی مفصّل چند ماشین حساب دیده می‌شود. سازندگان این ماشین برای اینکه کاربرد دستگاههای سوراخ‌کنندهٔ کارتهای آن را در ورودی و خروجی دستگاه، کارآمد سازند تلاش بسیار کردند و توانستند در زمانی‌که ظرفیت خزینه‌کنی ماشینهای دیگر در موارد متعددی کافی نبود، ظرفیت ماشین حساب رله‌ای IBM را، حتی از ماشینهای الکترونیکی آن زمان بیشتر کنند. ماشینهای گوناگونی ساخته شدند که نخستین آنها در دسامبر ۱۹۴۴ به Groupe d' Essais d' Aberdeen تحویل داده شد و دو ماشین در لابراتوار محاسبات علمی آقای ت.ج. واتسن کارگذارده شدند که IBM آن را در دانشگاه کلمبیا به سرپرستی والیس اکرت ایجاد کرده بود.

ماشین حساب رله‌ای با ساخت ماشین غول‌آسای Selective Sequence Electronic Calculator یا SSEC توسط IBM دنبال شد ـ ماشینی که از سنت ماشین‌سازی Mark I اقتباس زیاد داشت (شکل ۷۰).آقای والیس اکرت مسؤول سازماندهی منطقی این ماشین، و فرانک همیلتون سرمهندس طرح بود. نتیجهٔ کار، سازشی میان تمایلات اکرت در استفادهٔ کامل از قطعات الکترونیکی به‌علت تواناییهای کار و گرایشهای همیلتون در مورد رله‌های الکترومکانیکی بدلیل کار پایدار آنها بود. لامپهای خلأ در قسمت ریاضی، مدارهای فرمان، حافظهٔ سریع هشت سلولی به‌کار برده شدند و رله‌ها در جاهای دیگر.

بدین‌ترتیب، در حافظهٔ هشت سلولی با یک حافظهٔ الکترومغناطیسی سروکار داشتیم که مستقیماً به ۱۵۰ سلول و توانایی نگاهداری ۲۰ هزار شماره در نوار سوراخدار دسترسی داشت. شماره‌ها یا براساس حافظهٔ الکترومغناطیسی یا به شکل سکانسی بر پایهٔ نوار سوراخدار، با سرعت دستگاه ضرب، یعنی در ۰٫۰۲۰ ثانیه خوانده می‌شدند.

این برنامه‌ها از ۱۹۴۵ آغاز، و ماشین در نهایت مخفیکاری در اندیکت ساخته شد، آنگاه



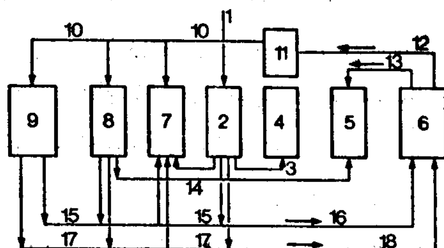
شکل ۷۰.نمایهٔ قسمتهای اصلی ماشین حساب الکترونیکی IBM.
۱. حافظه با نوار مغناطیسی؛ ۲. تنهٔ عایق؛ ۳. دستگاه چاپ؛ ۴. دستگاه سوراخ‌کنندهٔ کارتها ۵. دستگاه خوانندهٔ کارتها؛ ۶. خوانندهٔ نوار مغناطیسی؛ ۷. واحد برنامه؛ ۸. دستگاه خوانندهٔ کارتها؛ ۹. قسمت عملیات ریاضی؛ ۱۰. مولد تکانه؛ ۱۱. حافظهٔ الکترونیکی.

آن را به نیویورک انتقال دادند و به‌معرض نمایش گذاردند و سرانجام در جریان تشریفات کاملاً سازمان‌یافته‌ای در ژانویه ۱۹۴۸ کار آن شروع شد.

مهمترین خصیصهٔ SSEC به‌کمک آقای ر. ر. سیبر[1] این بود که می‌توانست دستورهای ثبت شدهٔ ریاضی را آمایش و اجرا کند. این ماشین شاید قطعاً نخستین دستگاه عملی دارای این امکانات بوده است. این امر، چند اختراع بسیار مهم را برای IBM به‌ثبت رسانید، گرچه خود ماشین، به‌طور کلی خود را، مقداری عقب مانده نشان داد و در ۱۹۵۲ آن را اوراق کردند. با این حال، این ماشین برای IBM تجربهٔ بسیار پرباری بود، مثلاً همیلتون و مهندسان همکارش سازندهٔ IBM 650 شدند که موفقیت فراوان یافت و بسیاری از برنامه‌سازهای SSEC بعدها به عضویت گروه برنامه‌سازی IBM 701 درآمدند.

در پایان باید از ماشین دیگری از IBM یاد کرد که آن را پیش‌نمونهٔ حسابگرهای جدید الکترونیکی می‌دانند. این حسابگر، با برنامه کارتی (CPC) است، ماشینی که همراه پیشینیان خود، توسط SSEC به محاق رفت (شکل ۷۱).حسابگر رله‌ای (CPC) مانند PSRC ریشه در سری 600 حسابگرهای با کارتهای سوراخدار ـ ضرب‌کنندهٔ IBM دارد. در سال ۱۹۴۶ شرکت IBM، نوع 603، ساخت نخستین حسابگر الکترونیکی را اعلام داشت. حسابگر نوع IBM 603 که دارای ۳۰۰ دیود بود برپایهٔ نوعی ضرب‌کنندهٔ تجربی طرح اندیکت با سرپرستی آقای ر. ل. پالمر[2] در ۱۹۴۲ تکامل یافت. صدتایی از این دستگاهها فروش رفتند و بعد IBM آن را با نوع 604 تعویض کرد که نوعی حسابگر الکترونیکی بود که از تابلوی مدارها با شاخه‌های مشروط فرمان

1. R. R. Seeber 2. R. L. Palmer



شکل ۷۱.نمایهٔ ماشین حساب IBM با برنامهٔ کارتی.
اتصالات بین قسمتها:
۱. ورودی کارتها؛ ۲. خوانندهٔ کارتها؛ ۳. دستورها؛ ۴. برنامهٔ فرمان؛ ۵. سوراخکاری نتیجه و دو برابر کردن کارتها؛ ۶. قسمت محاسبهٔ الکترونیکی؛ ۷. دستگاه چاپ؛ ۸. گروه کنتورهای مخزن (۷ گروه)؛ ۹. قسمت مخازن کمکی (۱۶ دفتر)؛ ۱۰. کانال C_۱۰ شماره‌ای؛ ۱۱.جابه‌جا شدن ستونها تا پنج موضع؛ ۱۲ و ۱۳. نتیجهٔ C؛ ۱۴. کابل انتقال نتایج برای سوراخ شدن؛ ۱۵. کانال A_۱۰ شماره‌ای؛ ۱۶. فاکتور a؛ ۱۷. کانال B_۱۰ شماره‌ای؛ ۱۸. فاکتور b.

می‌گرفت، اما فقدان جهشهای به‌عقب، ساخت حلقه‌های برنامه‌ها را ناممکن ساخته بود. تحویل حسابگرهای 604 که بیش از ۴۰۰ دیود داشت در ۱۹۴۸ شروع شد. بیش از ۵۰۰۰ دستگاه در مدت ده سال بعد، نصب شدند.

در ۱۹۴۸ یک حسابگر 604 با ماشین حسابی از نوع 402 توسط Compagnie Northrop Aircraft جفت شد تا ظرفیت و سهولت چاپ 604 افزایش یابد. این فکر را IBM پسندید و آن را پایهٔ CPC قرار داد. بیش از ۷۰۰ دستگاه CPC ساخته شدند و با تأمین نیازهای محاسبه‌ای تأسیسات بسیاری در ممالک متحد امریکا چنان منزلتی یافت که حسابگرهای الکترونیکی با برنامهٔ ثبت شده، در مقیاس معقولی دادوستد می‌شدند. شرکت IBM در سالهای پس از تولید CPC، با ساخت 701 قلمرو حسابگرهای الکترونیکی خود را گسترش داد. این ماشینی بود که از سنت ماشینهای IAS فون نویمان تقلید کرده بود و نخستین گزینش خود را، برای تصاحب مقام برتری که اینک میان سازندگان حسابگرهای الکترونیکی به‌دست آورده است، انجام داد.

کنراد تسوزه: آقای کنراد تسوزه در سن ۲۴ سالگی، در ۱۹۳۴، کوشش خود را برای پیشرفت کمکهای مکانیکی به حسابگرها شروع کرد. در این زمان وی دانشجوی رشتهٔ شهرسازی در مدرسه عالی فنی Berlin-Charlottenbourg بود و در پی وسایلی برای سبک کردن بار محاسبات

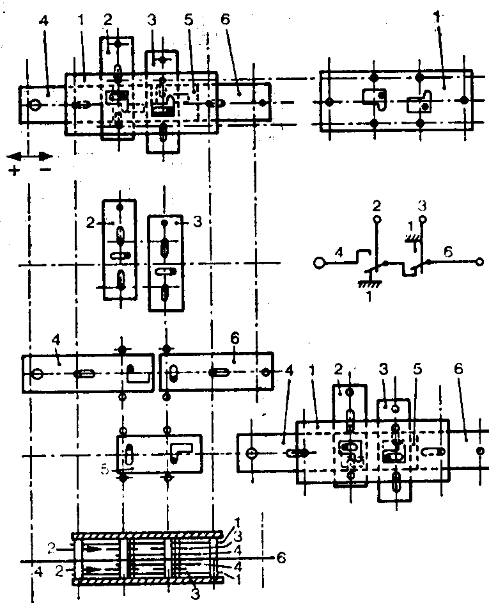
ملال‌انگیزی بود که ناگزیر از انجام آنها می‌شد. نخستین اندیشهٔ وی، ایجاد نمایه‌های ویژه‌ای جهت آسان کردن محاسبات دستی بود، اما بزودی بر آن شد که در پی مکانیکی کردن عملیات برآید. وی درحالی‌که به کاربرد نمایه‌های ویژه‌ای که برای فرمولهای خود اندیشیده بود ادامه می‌داد، درصدد ارائه اطلاعات عددی توسط سوراخها و کاربرد نوعی گیرهٔ دستی برای انتقال این اطلاعات توسط یک کابل الکتریکی به یک ماشین حساب خود کار برآمد. وی در آن زمان می‌اندیشید که از یک ثبات مکانیکی استفاده کند نه کارتهای سوراخدار، و می‌دانست که این نمایه‌ها خوب انطباق نیافته‌اند؛ آقای تسوزه به تکمیل حافظهٔ مکانیکی همه جانبه‌ای روی آورد که نشانی جاهای آنها با اعداد داده شوند.

حدود سال ۱۹۳۶ وی مبانی نوعی حسابگر دوحالتی‌با ممیز شناور را طرح کرد. نواری با برنامهٔ یک سکانس دستوری، که هر دستور، یک نوع عمل را تعیین می‌کرد، دو نشانی عملوند و یک نشانی نتیجه، آن را هدایت می‌کردند. بدین‌ترتیب، با ظاهری کاملاً متفاوت از ساختهای اولیهٔ ببج و پیروان وی از ماشینهای تحلیلی، تسوزه سریعاً به‌طرح نوعی حسابگر همه جانبه با برنامهٔ ثبت شده، اما بدون شاخه‌زنی مشروط دست یافت. اکنون روشن است که اندیشه‌های اساسی مبنای طرح کلی تسوزه، پیش از وی فرمولبندی شده بودند؛ مثلاً حساب دوحالتی‌از لایبنیتس فرمان برنامه‌ای از ببج، قالبهای دستورها با نشانیهای عددی مخازن از پرسی لادگیت؛ و ارائه‌های اعداد به‌شکل ممیزهای شناور از تورس‌ی‌کویدو بود. اما باید خاطرنشان ساخت که تسوزه این شایستگی بزرگ را داشت که نخستین کسی بود که این اندیشه‌ها را عملی ساخت.

تسوزه برای یافتن کسی که در ساختن این ماشین وی را کمک مالی کند با دشواریهای فراوان روبرو شد. علی‌رغم مشکلات مالی، نخستین ماشین وی، ZI که به‌طور کامل مکانیکی بود در ۱۹۳۸ به پایان رسید، اما طرز کار آن رضایت‌بخش نبود. وی دست به‌کار ساخت ماشین دوم خود با حساب دوحالتی‌و ممیز ثابت شد. این ماشین از حافظهٔ مکانیکی دوحالتی۱۶ سلولی ZI استفاده می‌کرد، اما در قسمتهای دیگر آن، بر حسب مورد، رله‌های تلفن به‌کار رفته بودند (شکل ۷۲).زمانی‌که حسابگر Z2 به پایان رسید، معلوم شد که عملی نیست.

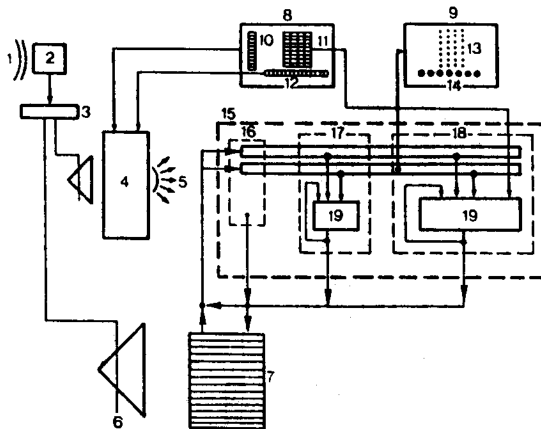
از همین زمان، یکی از همکاران وی به نام هلموت شرایر[1] با تسوزه روی نحوهٔ تولید نوع الکترونیکی ZI کار می‌کرد. آنان یک واحد کوچک حساب دوحالتی‌و دارای ده موضع، با حدود صد دیود ساختند؛ اما پیشنهادهای تسوزه و شرایر به دولت آلمان برای یک حسابگر الکترونیکی ۱۵۰۰ دیودی رد شدند و کار آنها در ۱۹۴۲ متوقف گردید.

1. Helmut Schreyer



شکل ۷۲.قسمت مکانیکی شماره‌یاب تسوزه (Zuse).
طرز کار این قسمت، وابسته به کار سیستمهای رله است.
۱. صفحهٔ ثابت؛ ۲، ۳. صفحهٔ کنترل ؛ ۴. صفحهٔ فرمان؛ ۵. صفحهٔ واسطه؛ ۶. صفحهٔ نتیجه. شباهت کار شماره‌یاب با طرز کار قسمت از سیستم رله‌ای، با اعداد یکسان نمایانده شده است.

تسوزه در آغاز سال ۱۹۳۹ به خدمت نظام فرا خوانده شد، اما توانست پس از گذشت یک سال آزاد شود و برای نخستین بار، یک پشتوانهٔ مالی مهم از دولت برای نقشه‌های خود دریافت کند. این کمک به وی امکان داد تا حسابگر Z3 را بسازد. این حسابگر، نوعی ماشین دوحالتی با یک حافظهٔ ۶۴ سلولی بود که به‌طور کامل از رله‌های تلفن استفاده می‌کرد. این حسابگر که در ۱۹۴۱ مورد استفاده قرار گرفت به‌عنوان نخستین حسابگر همه‌جانبه و دارای برنامه، در جهان شناخته شده است (شکل ۷۳).این ماشین دارای واحدهای جمعزنی، تفریق، ضرب، تقسیم و جذر بود و از نوعی ارائه اعداد با ممیز شناور، با یک binary digit=bit علامت و یک نما با هفت بیت و یک مانتیس (جزء اعشاری لگاریتم) با چهارده بیت بود. ورود خبر توسط شستی و خروج آن بوسیلهٔ



شکل ۷۳.حسابگر Z3 تسوزه.
۱. نوار سوراخدار؛ ۲. خواننده؛ ۳. ثبّات عملیات؛ ۴. واحد فرمان؛ ۵. اتصالات فرمان؛ ۶. گزینندهٔ حافظه؛ ۷. حافظه؛ ۸. ورودی؛ ۹. خروجی؛ ۱۰. کلیدهای عملیات؛ ۱۱. کلیدهای اعداد؛ ۱۲. کلیدهای جای اعشاری؛ ۱۳. لامپهای اعداد؛ ۱۴. لامپهای جای اعشاری؛ ۱۵. واحد عملیات ریاضی؛ ۱۶. واحد علامت؛ ۱۷. واحدنما؛ ۱۸. واحد مانتیس (جزء اعشاری لگاریتم)؛ ۱۹. دستگاههای جمعزنی.

مجموعه‌ای از لکه‌های نوری انجام می‌گرفت؛ در هر مورد برگردان دو حالتی / اعشاری به‌طور خودکار صورت می‌پذیرفت. یک نوار سوراخدار حامل دستورها با نشانی ساده، یعنی دستورهایی که عملکرد و عملیات را تعیین می‌کنند، ماشین را کنترل می‌کرد.

آقای تسوزه، علاوه‌بر ردیف حسابگرهای همه جانبهٔ خود، دو حسابگر ویژه هم ساخت که از هر دوی آنها برای محاسبات شکل بال هواپیما استفاده می‌شد. نخستین آنها مدت دو سال در کارگاههای هنشل[1]، پیش از اینکه در بلایای جنگ خراب شوند به‌کار گرفته شد. هر دو حسابگر دارای برنامه‌های ثابت، با مدارهای کابلی متصل به کموتاتورهای گردان بودند و عملیات جمع، تفریق و ضرب در عاملهای ثابت را انجام می‌دادند.

مدت کوتاهی پس از ساخت Z3، نقشه‌هایی برای نوع بهتر ماشین، Z4 مورد بررسی قرارگرفتند. این ماشین اصولاً الکترومکانیکی بود اما یک حافظهٔ دوحالتی‌کاملاً مکانیکی، شبیه حافظه‌های Z1 و Z2 داشت. ماشین Z4 که هنوز کامل نبود تنها ماشین تسوزه بود که از خطر جنگ رسته

1. Henschel

بود. اما این ماشین کامل شد و چند سال در مدرسهٔ عالی فنی زوریخ خدمت کرد.

ماشین Z4 دقیقاً پس از جنگ توسط آقای ر. س. لیندون[1] مورد بررسی قرار گرفت و گزارش وی دربارهٔ این ماشین برای دفتر بررسیهای کشتیرانی ممالک متحد امریکا، در ۱۹۴۷ انتشار یافت. در این زمان، ماشین Z4 تنها ورودی و خروجی دستی داشت و از امکانات شاخه‌زنی مشروط محروم بود، گرچه افزایش چهار دستگاه خواننده و چند نوار و نیز دو دستگاه سوراخ‌کنندهٔ نوار، همچنین تسهیلاتی برای تکرار برنامه‌ها یا گزینشی از زیربرنامه‌ها برای آن پیش‌بینی شده بود. این ماشین در انبار غلهٔ روستایی واقع در باویر گذاشته شده بود؛ با اینکه کاملاً آمادهٔ کار نبود، آقای لیندون توانسته بود طرز کار حافظهٔ مکانیکی و نیز عملیات گوناگون ریاضی و سکانسهای خودکار آن را ببیند.

گزارش وی از Z4، جز حافظهٔ مکانیکی که آقای لیندون نتوانسته بود آن را مفصّلاً بررسی کند، کامل و واقع‌بینانه بود و اشاره‌ای به کارهای نخستین تسوزه در آن نرفته بود.

در واقع، چندین سال بعد بود که یادداشتهای کارهای تسوزه به انگلیسی انتشار یافت و نیز مقام واقعی تسوزه در گذر تکامل حسابگرها شناخته شد.

جمعزنهای شرطبندی و رله‌های تلفنی: مدت چندین سال از امکانات تجهیزات تلفنی برای ساخت وسایل محاسبات عددی غافل بودند. همان‌طور که در بالا گفته شد، نخستین مرکز تلفن خودکار مجهز به یک شماره‌یاب یا کموتاتور اشتروگر، در ۱۸۹۲ تأسیس گردید. مولینا[2] در ۱۹۰۶ دستگاهی اختراع کرد که تکانه‌های نشان‌دهندهٔ ارقام مرکب واقع در کادر را در سیستمی کمال یافته‌تر ترجمه می‌کرد. مرکزهایی که اساساً بارله‌های الکترومکانیکی مجهز شده بودند در آغاز سدهٔ بیستم وارد خدمت شدند، نخستین مرکزهای خودکار در سالهای ۱۹۱۰ گشایش یافتند.

در پایان سالهای ۲۰ این سده، وسایل گوناگونی بر پایهٔ تجهیزات تلفنی ساخته شدند، که جالبترین آنها گویا جمعزن خودکار بود.

حسابگرهای جمعزن در آغاز، ویژهٔ شرطبندیها بودند. این شرطبندیها برای مسابقات اسبدوانی در بریتانیای کبیر، در ژوئیه ۱۹۲۹ قانونی اعلام گردید. پیشرفت ماشینهای جمعزن کاملاً خودکار، ماشینهای موجود در نقاط متفرقهٔ میدانهای اسبدوانی، که بلیطها را از یک حسابگر مرکزی می‌فروختند و تابلوهای اعلانات که شماره و مقدار کل جوایز برای هر اسب و تمام مسابقه را تعیین می‌کردند، بسیار مورد توجه بودند. این مسابقه، چند جانبه بود. ماشین جمعزن همیلتون و جمعزن ساخت British Automatic Totalisator Co کلاً الکتریکی بودند که هم برای محاسبه و هم برای

1. R. C. Lyndon 2. Molina

عملیات اعلان و تبلیغ از آنها استفاده می‌شد، درحالی‌که در ماشین Lightning Totalisator، از تکانه‌های برقی ماشینهای فروش بلیط از دور، تنها برای رها کردن ساچمه‌های فولادی که در لوله‌ها می‌افتادند و ماشین جمعزن خودکار را فعال می‌ساختند، استفاده می‌شد.

در ژانویهٔ ۱۹۳۰، دفتر کنترل شرطبندیها در میدان اسبدوانی، ماشین Thirsk را که یک جمعزن جدید برقی ساخت British Thompson-Houston بود و بر اساس کموتاتور اشتروگر (شماره‌یاب تلفن) ساخته شده بود، به آزمایش گذاشت. این ماشین که می‌شد آن را از یک میدان به میدان دیگر انتقال داد، می‌توانست شرطبندیها را روی شش اسب با آهنگ ۱۲۰۰ در دقیقه جمع کند. این ماشین در واقع در بالیتمور مریلند در ۱۹۲۸ طرحریزی شده بود، اما نخستین ماشین کاملی که در امریکا مورد استفاده قرار گرفت، ساخت شرکت American Totalisator Co در آرلینگتن پارک و تنها در ۱۹۳۳ بود. در سالهای پس از آن، جمعزنهای بسیار پیشرفته، شامل صدتایی ماشینهای با بلیطهای فروش از دور، در میدانهای اسبدوانی همهٔ ممالک متحد امریکا به‌کار گرفته شدند، و با گذشت چندین سال پس از پیدایش حسابگرهای الکترونیکی بود که یکی از آنها، جانشین دستگاه مرکزی جمعزن شد.

طرح نخست، که کمتر شناخته شده است، یک ماشین حساب، بر اساس رله‌های تلفن از آن برنارد وینر[1] اهل چک‌واسلاواکی در ۱۹۲۳ بود. آقای وینر با همکاری شرکت ویتوویچ ایرون[2] در سالهای ۳۰، طرح یک حسابگر خودکار قویتر را آماده ساخت. وی تا پایان جنگ زنده نماند و از سرنوشت کارهای او کسی آگاه نیست. یک کار آزمایشی دیگر، مربوط به آقای نیکلادزه[3] در ۱۹۲۸، یک ماشین ضرب بر اصول میله‌های ژنای[4] بود که کمکهای غیرمکانیکی آن برای ضرب، خواندن حاصل‌ضرب یک عدد چند رقمی در یک رقم را ممکن می‌ساخت. چهار سال بعد، آقای هامان[5] نه تنها سبکهای گوناگون ماشینهای ضرب‌کننده بارله، که همچنین یک دستگاه برای حل مجموعه‌های معادلات خطی همزمان را شرح داد، و کمی پس از او، آقای وایگانت[6] یک ماشین پیش‌نمونه برای محاسبهٔ دترمینانهای درجهٔ ۳ را معرفی کرد. بی‌شبهه، در سالهای بعد، دستگاههای دیگری جهت محاسبات رقمی، بر پایه رلهٔ تلفنی، بویژه در زمان جنگ، جهت کاربردهای جنگی مانند محاسبات بالیستیکی یا کشف رمزها ساخته شدند.

همان‌طور که در بالا گفتیم، بعضی از ماشینهای تسوزه از رله‌های تلفنی استفادهٔ فراوان کردند.

---

1. B. Wiener 2. Vittovice Iron 3. Nicoladze 4. Genaille 5. Hamann
6. Weygandt

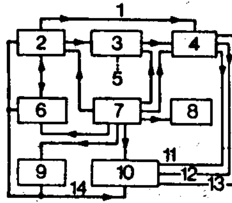
حسابگرهای بل تلفن: زمانی‌که می‌بینیم که لابراتوارهای Bell Telephone در زمینهٔ حسابگرهای الکترونیکی، تا سال ۱۹۳۷ تحقیق نمی‌کردند، درحالی‌که از سال ۱۹۲۵ تکنیکهای مدارهای رله‌ای در این قسمت به‌کار رفته‌اند، متعجب می‌شویم.

در حقیقت تنها در سال ۱۹۳۷ بود که آقای جورج استیبیتس[1] تجربه‌ای را بر اساس کاربرد رله شروع کرد و مدارهایی برای جمع‌زدن، ضرب کردن و تقسیم طرح کرد. در آغاز، وی روی حساب دوحالتی‌و برگردان دوحالتی ـ اعشاری و اعشاری ـ دوحالتی کارکرد؛ اما بعدها به‌نمایش اعداد به اعشاری با رمز دوحالتی‌علاقمند شد. این طرح زمانی رسمی شد که به پیشنهاد ت. س. فرای[2] آقای استیبیتس به طرح یک حسابگر ضرب و تقسیم‌کنندهٔ اعداد مختلط روی آورد ـ کاری که در عمل واقعاً به آن نیاز بود، زیرا حل دشواریهای مربوط به ایجاد شبکه‌های صافی را تسهیل می‌کرد. وی ساختن سری بسیار پر اهمیتی از حسابگرهای رله‌ای لابراتوارهای بل تلفن را آغاز کرده بود.

آقای س. ب. ویلیامز در نوامبر ۱۹۳۲ مسؤولیت پیشبرد این حسابگر را به‌عهده گرفت و همراه استیبیتس، طرح را ویراسته کرد. ساخت این حسابگر در ماه آوریل آغاز و در اکتبر ۱۹۳۹ به پایان رسید. این ماشین که calculateur de nombres complexes یا calculateur complexe مدل I نام گرفت (مدلهای دیگری از آن ساخته شدند) در ژانویهٔ ۱۹۴۰ به‌خدمت گرفته شد. این حسابگر بزودی برای آسان کردن عملیات جمع و تفریق اعداد مختلط تکمیل شد و تله تایپ دوم و سپس سوم برای فرمان از دور به آن افزوده شد. از این ماشین برای کارهای روزمره تا سال ۱۹۴۹ در لابراتوارهای بل استفاده می‌شد. این حسابگر اعداد مختلط برای بار اول در سپتامبر ۱۹۴۰ به نمایش گذارده شد. آقایان جان موکلی[3] و نوربرت واینر[4]، در یک جلسهٔ عمومی جمعیت امریکایی ریاضیات، این حسابگر را در ساختمانهای بل نیویورک به نمایش گذاردند و توسط دستگاه تلگراف چاپی که در هانوور (ینو همپشر) کار گذاشته شده بود به آن فرمان می‌دادند.

آقای استیبیتس در سالهای ۱۹۳۹ و ۱۹۴۰ کار خود را روی طرح سکانس خودکار و کاربرد رمزهای تصحیح‌کنندهٔ غلطها، شروع کرد. این اندیشه‌ها یک سال پس از آن، که ضربهٔ جنگ وارد شده بود، فعالانه مورد بررسی قرار گرفتند، زیرا مقتضیات مالی، مساعد شده بود. در آن زمان آنها مبنای حسابگر دوم رله‌ای بل: interpolateur a'relais یعنی دستگاهی قرار گرفتند، که نوار ویژه‌ای با یک سیستم تصحیح‌کنندهٔ غلطها، به آن فرمان می‌داد. این دستگاه که برای مسائل تیراندازی طرح، و جهت شورای تحقیقاتی دفاع ملی تهیه شده بود، توسط استیبیتس در لابراتوار بل تلفن ساخته شد. هر چند که این دستگاه اساساً برای درونیابی به کار گرفته می‌شد، برای حل

1. G.Stibitz 2. T. C. Fry 3. John Mauchly 4. Norbert Weiner



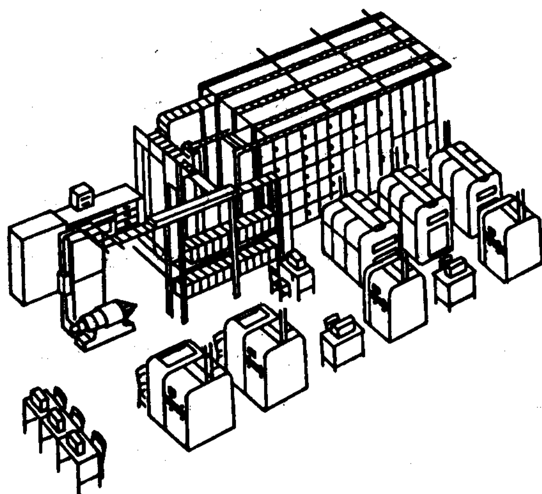
شکل ۷۴.نمودار بلوکی مدارهای حسابگر بالیستیک؛ لابراتوارهای بل، مدل III.
۱. مضرب C؛ ۲. کنترل داده‌های مسأله؛ ۳. کنترل دستگاه چاپ یا سوراخ‌کننده؛ ۴. ۱۰ تبات مخزن پنج یا شش رقمی؛ ۵. به سوی تله تایپ یا سوراخ‌کننده؛ ۶. کنترل دستگاه برونیاب داده‌ها؛ ۷. کنترل اصلی؛ ۸. شستی و اندیکاتور لامپی؛ ۹. کنترل بالیستیک؛ ۱۰. حسابگر، تبات A، B، C، D کنترل راهنما؛ ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مضرب M، R ،C؛۱۴. مضرب R.

چند مشکل آنالیز همساز (هارمونیک)، محاسبهٔ ریشه‌های چند جمله‌ایها و راه‌حلهای معادلات دیفرانسیل از آن استفاده می‌کردند. این ماشین در سپتامبر ۱۹۴۳ به کار گرفته شد و پس از جنگ به لابراتوارهای تحقیقاتی کشتیرانی ممالک متحد امریکا تحویل داده شد که تا ۱۹۶۱ در آنجا خدمت می‌کرد.

حسابگررله‌ای مدل III، «حسابگر بالیستیک» که ساخت آن در ۱۹۴۲ شروع شد، ماشینی بسیار شبیه نخستین طرحهای استیبیتس برای حسابگر خودکار بود و اساساً جهت هدایت تیر ساخته شده بود؛ انعطاف‌پذیری آن از مدل II بیشتر بود. این دستگاه را یک نوار فرمان می‌داد و حافظهٔ آن ده ثبات داشت، و مجهز به ضرب‌کننده‌ای براساس طرح آقای ا. ل. ویبارد[1] بود، و نیز وسایلی برای مشورت خودکار با جدولهایی بود که در نوار سوراخدار خزینه شده بودند (شکل ۷۴).واقعیت بسیار جالب، خودکار بودن ۱۰۰٪ آن بود. این ماشین در ژوئن ۱۹۴۴ ساخته شد و تا ۱۹۵۸ کار می‌کرد.

حسابگر رله‌ای مدل IV با مدل III چندان تفاوتی نداشت و این سری با مدل V به‌انتها رسید. مدل V از یک برنامه فرمان می‌گرفت و واقعاً همه جانبه بود، و با امکانات شاخهٔ مشروط بسیار مناسبی تکمیل شده بود (شکل ۷۵).آخرین مدل این سری، VI، اساساً از مدل V زیاد ساده‌تر نبود. دو نمونه از مدل V ساخته شدند، که اولی در ۱۹۴۶ تحویل National Advisory Committee On Aeronautics در لنگلی فیلد (ویرجینیا) شد و دومی در ۱۹۴۷ تحویل لابراتوارهای تحقیقات بالیستیکی در ابردین (مریلند) گردید. مدل V با چندین واحد محاسبه که

1. E. L. Vibbard



شکل ۷۵.حسابگر مدل V لابراتوارهای بل.

از ریاضیات با ممیز شناور استفاده می‌کرد، چیزی بود که اکنون آن را یک سیستم چند پردازشگر می‌گویند و نوارهای برنامه‌دار آن پیش‌نمونه‌های سیستمهای اولیه کاربردی، جهت پردازش از طریق تسهیم بودند.

هر کدام از این دو واحد محاسبه شامل سیستم کاملی از ۱۵ ثبّات مخزن بودند. هر ثبّات ساده می‌توانست یک شماره را با ممیز شناوری که از یک علامت، یک مانتیس مرکب از هفت رقم اعشاری و یک نمای دو رقمی تشکیل می‌شد خزینه کند. رقمهای اعشاری به‌شکل رمزهای دو پنجی، متضمن هفت رله، خزینه می‌شدند، و هر ثبات شامل یک کل ۶۲ رله‌ای بود. هر واحد برای عملیات جمع، تفریق، ضرب، تقسیم و نیز جذر اعداد به‌شکل ممیز شناور، و بالاخره، تحریر و سوراخ کردن نتایج آن، دستگاههای جداگانه‌ای داشت. وانگهی، هر دو واحد محاسبه، به‌طور وسیعی در دستگاههای نوارخوان، برای داده‌های ورودی، وظایف جدولبندی شده، برنامه‌ها، و نیز برای نوارهای برنامه‌ای که اجرای سری برنامه‌های جداگانه را رهبری می‌کردند سهیم بودند. این واحدها معمولاً همچون حسابگرهای مستقل عمل می‌کردند، اما برای کار جمعی مسائل گسترده، می‌توانستند مجتمع باشند.

مدل V با اینکه کارش نسبتاً بطئی بود، رکوردهای تازه‌ای از پایداری در کار و انعطاف‌پذیری، سهولت جابه‌جا کردن از یک حسابگر به دیگری را داشت. یقین است که این خصائص اثر چشمگیری بر پژوهش‌گران موج نخست حسابگرهای الکترونیکی همه جانبه داشته است. در سالهای بعد، حتی پس از اینکه نخستین حسابگرهای الکترونیکی با برنامه‌های ثبت شده ساخته شدند، باز تعداد زیادی حسابگر رله‌ای، چه در ممالک متحد امریکا و چه در اروپا تولید شدند و نقش آنها در تاریخ حسابگرها را، تنها با نقش مدل V لابراتوارهای بل و معاصران آن می‌توان مقایسه کرد.

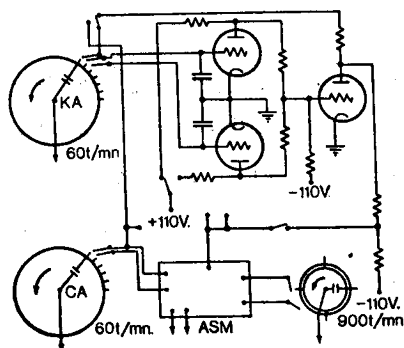
پیدایش حسابگرهای الکترونیکی: نخستین مدار الکترونیکی رقمی (دیجیتال) شناخته شده، یک «رله ماشه‌ای» بود که از یک جفت دیود در یک مدار، با دو حالت پایدار تشکیل می‌شد و نخستین نوع ماشه‌ای است که در ۱۹۱۹ آقایان اکلز و جوردن آن را شرح داده‌اند. مرحلهٔ پس از آن، طبق اطلاع ما، کاربرد آن بوسیلهٔ آقایان وین[1] ـ ویلیامز در ۱۹۳۲ در آزمایشگاه کوندیش (در کمبریج)، به شکل تیراترون در مدارهای شمارنده دارای یک شمارندهٔ دوحالتی‌بود. در پایان همان دهه، چندتایی مقاله دربارهٔ کنتورهای الکترونیکی ویژهٔ محاسبهٔ تکانه‌ها در لامپ گایگر ـ مولر، برای آزمایشهایی در رشتهٔ فیزیک هسته‌ای به‌چاپ رسید.

کارهای وین ـ ویلیامز اثر مستقیمی بر افکار آقای ویلیام فیلیپس گذاشت. فیلیپس در ۱۹۳۵ برای ثبت اختراعی در زمینهٔ ماشین الکترونی محاسبهٔ دو حالتی تلاش می‌کرد. وی یک مدل مکانیکی برای عمل ضرب ساخته بود که قرار بود در آینده آن را الکترونی کند؛ این دستگاه هنوز هم هست، گرچه از جزئیات دیگر این دستگاه که به شکل طرحی مانده است اطلاعات چندانی نداریم.

نخستین اقدام شناخته شده‌ای که برای ساخت یک ماشین الکترونیکی بمنظور محاسبهٔ عددی انجام گرفته است توسط آقای جان و. آتاناسوف[2] در اواسط دههٔ ۳۰، در کالج دولتی آیووا بود که در آنجا مرکز بسیار بزرگی برای عملیات آماری با کارتهای سوراخدار، از اول دههٔ ۲۰ ایجاد شده بود. آقای آتاناسوف به‌عنوان یک دانشمند ریاضیات کاربردی با مشکلات متعددی برخورد می‌کرد که مستلزم تعمیم روشهای موجود برای نزدیک کردن راه‌حلهای معادلات خطی عملگری بود. وی نخستین کاربرد تکنیکهای قیاسی را کشف کرد و همراه آقای لین هانوم[3]، که یکی از شاگردان وی بود دستگاه Laplaciometer را تکامل بخشید. این دستگاه می‌تواند معادلهٔ دو بعدی لاپلاس را با شرایط گوناگون حدی، حل کند.

مقارن سال ۱۹۳۵، آقای آتاناسوف، که حدود دقیق محاسبات قیاسی را تعیین کرده بود به

1. Wynn 2. J. V. Atanasoff 3. Lynn Hannum



شکل ۷۶. حسابگر آتاناسوف ـ بری؛ که دو استوانهٔ گردان (KA و CA) و مکانیسم جمعزنی ـ تفریق (ASM) آن نشان داده شده‌اند.

روشهای عددی گرایش یافت. نقایص تکنیکهای مکانیکی و اطلاع وی از الکترونیک و کارهای اکلز و جوردن، او را به ساخت یک دستگاه الکترونیکی رهنمون شدند. وی بزودی دریافت که سیستم شماره‌گذاری بر مبنای ۲، امتیازات فراوان دارد. در طی سالهای ۱۹۳۶ـ۱۹۳۷، آتاناسوف دستگاه اکلز ـ جوردن را کنار گذارد و سیستمی بر پایهٔ حافظه و مدارهای منطقی طرح کرد که جزئیات آن در ۱۹۳۸ مشخص شدند. وی یک کمک پولی از دولت آیووا در ۱۹۳۹ دریافت کرد و آقای کلیفورد ا. بری[1] به وی پیوست.

او با کمک آقای بری پیش‌نمونه‌ای از یک دستگاه محاسبه ساخت که در پاییز همان سال به کار گرفته شد. آنان بعداً به مطالعه و ساخت دستگاه بزرگی برای حل سیستمهای معادلات خطی، همزمان، تا ۳۰ معادله، روی آوردند.

در دل این ماشین، یک جفت استوانهٔ گردان، و نیز تعدادی خازن کوچک الکتریکی در سطح آنها کارگذاری شده بودند (شکل ۷۶). هر خازن می‌توانست بر حسب جهتگیری بار برقی آن، یک رقم دوحالتی‌را نشان دهد. حتی با وجود اتلاف آهستهٔ بار برقی، چنان ساخته شده بود که در زمان گردش استوانه‌ها، بار برقی هر خازن آشکار می‌شد و در فاصلهٔ زمانی یک ثانیه، چنان خوب تقویت می‌شد که کار اطلاع‌رسانی می‌توانست تا هر زمان که بخواهند پایدار باشد.

خازنها به ترتیبی قرار داده شده بودند تا دو گروه سی مخزنی دو حالتی، هر یک مرکب از پنجاه

1. clifford E. Berry

بیت بدهند. خازنها که یک سلول مخزنی ساده را نمایش می‌دادند روی سطحی عمود بر محور سیلندرها قرار داشتند.

نتایج مراحل بینابینی محاسبه، به‌شکل دوحالتی‌روی کارتها سوراخ شده بودند تا بعداً از نو، آنها را وارد ماشین کنند. برای اینکه سوراخ کردن و خواندن کارتها از سرعتی کافی برخوردار باشند تا کار محاسبه کند نشود، دستگاههای ویژه‌ای برای سوراخ کردن و آشکارکردن سوراخهای کارتها بوسیلهٔ جرقه‌های الکتریکی ساخته شدند. ورودیها و خروجیهای معمولی توسط کارتهایی که به‌طور معینی سوراخ شده بودند انجام می‌گرفت، این ماشین به‌طور خودکار، برگردانهای دوحالتی‌اعشاری را انجام می‌داد.

این ماشین با جمعزنی و تفریق دوحالتی‌و امکانات تغییر مبنای ریاضی خود، ویژهٔ حل سیستمهای معادلات خطی عددی به روش حذف متوالی مجهولات بود. بخش الکترونی این حسابگر، عملگری بود، اما خوانندهٔ کارتهای دو حالتی، در سال ۱۹۴۲ هم که آتاناسوف و بری آیووا را پس از فروش تجهیزات خود، ترک کردند، وجود نداشت. این ماشین کنار گذاشته شد و هرگز به‌طور کامل کار نکرد.

در پایان دههٔ ۳۰ و در آغاز دههٔ ۴۰، سازندگان متعدد امریکایی ماشینهای دفتری از جمله IBM، که ساختهای آنان در بالا به اختصار شرح داده شدند، درصدد برآمدند که مدارهای الکترونیکی عددی را جانشین این دستگاههای مکانیکی یا الکترومکانیکی سازند. نخستین کارهای شناخته شده برای کاربرد الکترونیک در یک حسابگر همه جانبه با برنامهٔ ثبت شده را آقایان شرایر و تسوزه، چنانکه قبلاً گفتیم، انجام دادند.

در ردیف همین کارها، باید از سری ماشینهای الکترونیکی عددی نام برد که در زمان خود محرمانه بودند؛ این ماشینها در زمان جنگ در بریتانیای کبیر طراحی و ساخته شدند. از این نوع ماشینها باید از ماشینهای کولوس Colosse نام برد که در پیشبرد حسابگرهای الکترونیکی تأثیر خاصی داشته‌اند، و نخستین آنها در پایان ۱۹۴۳ به کار گرفته شد و دوتای دیگر در پایان جنگ مورد استفاده قرار گرفتند.

هر ماشین کولوس حدود ۲۰۰۰ دیود و یک دستگاه سوراخ‌کنندهٔ نوار داشت که همچنین می‌توانست با سرعت ۵۰۰۰ نویسه(حرف) در ثانیه بخواند. پیکربندی مقررآن‌که با اطلاعات به‌دست آمده مقایسه شده است، همان پیکربندی ماشین اصلی ساخته شدهٔ آن زمان است که محفوظ مانده است. این پیکربندیها در تّباتهای حلقه‌ای که از تیراترونها ساخته شده بودند و با فرو بردن دو شاخه‌ها

با دست استقرار می‌یافتند، حفظ شده‌اند.

ماشینهای کولوس را گروهی به سرپرستی م. هـ. ا. نیومن[1] ساختند. آقای الن تورینگ[2] که یکی از شخصیتهای اصلی بود که در نمونه‌های پیشین الکترومکانیکی کولوسها همکاری داشت، گویا در این ماشینهای جدید همکاری نداشت؛ اما در تعیین ویژگیهای این ماشین با دیگران همکاری کرده است.

از بین رفتن جزئیات فنی این ماشینها، ارزیابی دقیق ازکولوسها را در مقایسه با حسابگرهای رقمی کنونی بی‌معنی می‌سازد. گویا امکانات ریاضی در مقایسه با امکانات منطقی آن، بسیار کم بوده است، زیرا این ماشینها بیشتر شمارشی بودند تا جمعزنی و دیگر عملیات ریاضی. با وجود این، آنها دارای جایی برای قرینه کردن الکترونیکی بودند. هر چند که سراسر ـ حتی برای چاپ نتایج ـ الکترونیکی بودند، آنها را باید ماشینهای بسیار اختصاصی دانست و در زمینهٔ تخصصی، تابلوهای مدارها و باتریهای کموتاتوری انعطاف‌پذیری بسیار زیادی برای آنها ایجاد کرده بود؛ اشخاص متعددی که در این طرح شرکت داشتند بعداً تذکر دادند که این ماشینها با برنامه هدایت می‌شدند. اهمیت زیاد آنها را در نقش ماشینهای رمزنویس، باید از تولید زیاد آنها و افتخاراتی که به اعضای گروه پس از جنگ داده شد ارزیابی کرد. با این‌همه، تأثیر آنها در پیش‌برد حسابگرها، مضاعف بوده است. آنها امکان ساخت حسابگرهای بزرگ الکترونیکی رقمی، مثلاً ENIAC را، حتی در مقیاسی بسیار بزرگتر، حدود دو سال بعد ثابت کردند. همچنین آنها برای سازندگان بعضی از حسابگرهای اساسی بریتانیای پس از جنگ، و اساساً ماشین منچستر، MOSAICو ACE لابراتوارهای ملی فیزیک، مکتب مهمی بودند.

ENIAC: هیچگونه شرح و بیانی، هر قدر هم که جذاب و دقیق بوده، تا کنون نتوانسته است اهمیت کاری را که Engineering Moore School Of Electrical دانشگاه پنسیلوانیا انجام داده و به ساخت نخست ENIAC و سپس حسابگرهای EDVAC انجامیده است برابری کند. موراسکول در ۱۹۴۲ از طریق لابراتوار تحقیقات بالیستیک ارتش امریکا US Army Ordnance Department رابطهٔ تنگاتنگی با جنگ داشت و تحلیلگر تفاضلی موراسکول بمنظور کامل کردن کارهای لابراتوار تحقیقات بالیستیک، جهت تولید جدولهای بالیستیک به خدمت گرفته شده بود.

هر دو ماشین تحلیلگر، یکسان بودند و از تحلیلگر تفاضلی ساخت آقای بوش ۱۹۳۰ الهام گرفته بودند. آقای جان موکلی به مناسبت کارهایش در حسابگرهای دفتری و وسایل دارای کارتهای سوراخدار، شهرت زیادی به‌هم رسانیده بود. روشن است که وی از کارهای ایکن، که تازه ساخت

1. M. H. A. Newman 2. Alan Turing

Mark I هاروارد شروع کرده بود، یا آقای ببج در چند سال پیش، اطلاعی نداشت؛ با این‌همه وی از کار استیبیتس با خبر بود و از مرکز آیووا در ژوئن ۱۹۴۳ جهت تماشای حسابگر ویژه آناتاسوف دیدن کرده بود.

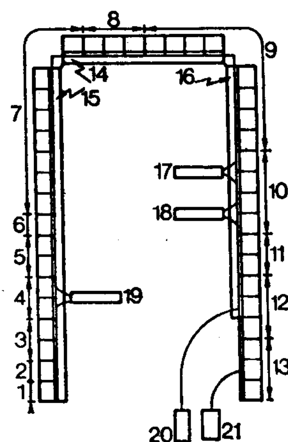
شخص دیگری که وی هم روی تحلیلگر تفاضلی موراسکول کارکرده، و با تعویض فزون‌سازهای مکانیکی با وسایل نیمه الکترونیکی خدمت بزرگی انجام داده بود، آقای جان پریسپر اکرت بود که به‌عنوان کمک محقق در این مدرسه کار می‌کرد. اکرت در ۱۹۴۱ موکلی را دیده بود و مباحثات آنها دربارهٔ امکان حل مسأله کار پایدار وسایل الکترونیکی پیچیده، مبنای یادداشتهای موکلی در ۱۹۴۲ است. وی پیشنهاد می‌کرد یک حسابگر الکترونیکی رقمی برای حل عددی معادلات دیفرانسیل از نوعی که در مسائل بالیستیک وجود دارند، ساخته شود.

آقای هرمان هـ. گلدشتاین[1] نیز در این مدرسه به عنوان افسر رابط سرهنگ پاول ن. گیلون[2] از دفتر فرماندهی توپخانه خدمت می‌کرد. وی پیش از جنگ، استادیار ریاضیات در دانشگاه میشیگان بود. در آغاز ۱۹۴۳، آقایان گلدشتاین و گیلون به امکان استفاده از یک ماشین حسابگر الکترونیکی برای تهیهٔ جدولهای تیراندازی و بمباران علاقمند شده بودند. در این زمان، ۱۹۴۲ یادداشتهای موکلی گم شد و وی ناگزیر به یادداشتهای منشی خود اتکا کرد. یادداشتهای دوم وی با نقشه‌های دقیقتری که موکلی و اکرت رسم کرده بودند، ضمیمهٔ گزارشی در تاریخ آوریل ۱۹۴۳ مبنای قرار دادی بین دانشگاه پنسیلوانیا و دولت فدرال جهت ساخت یک حسابگر الکترونیکی قرار گرفت.

گروه بزرگی در موراسکول برای طرح و ساخت این حسابگر، به سرپرستی آقای ج. جی. برینرد[3] با اکرت به‌عنوان سرمهندس و موکلی در سمت مشاور اصلی تشکیل شد. همینکه طرح مقداری به‌پیش رفت، جاه‌طلبی چنان دامن گرفت که ENIAC (حروف اول *Electronical Numerical Intergrator & Computer*) به دستگاهی بسیار همه جانبه‌تر از آنچه پیش‌بینی شده بود تبدیل یافت و هر چند که برنامه‌ها با کابلهای تابلوی فرمان پیشتر می‌رفتند، امکانات شاخه‌زنی مشروط بیشتر می‌شد. دستگاهی بود به‌طور باور نکردنی قابل پیشرفت؛ بیش از ۱۹۰۰۰ دیود داشت و توان الکتریکی آن ۲۰۰ کیلو وات بود. شمار بسیار زیاد لامپهای الکترونی، اکثراً برای خزینه کردن بسیار سریع و گزینش نوعی سیستم شمارشی بود که می‌توان آن را: اعشاری با رمز دوحالتی نامید.

ماشین ENIAC دارای ۲۰ انباره (آکومولاتور) ده عددی، برای جمعزنی یا تفریق، خزینه کردن موقتی اعدد، همچنین برای ضرب و تقسیم و نیز مجهز به یک قسمت استخراج ریشهٔ دوم

1. H. H. Goldstine 2. Paul N. Gillon 3. J. G. Brainerd



شکل ۷۷.نمایهٔ ماشین ENIAC.
۱. واحد مقداردهی اولیه؛ ۲. واحد چرخه‌زنی؛ ۳. تابلوهای برنامهٔ اصلی؛ ۴. تابلوهای کار ماشین؛ ۵، ۷، ۹ و ۱۱. انباره‌ها؛ ۶. واحد تقسیم و استخراج ریشهٔ دوم؛ ۸. تابلوهای ضرب؛ ۱۰. تابلوهای کار ماشین؛ ۱۲. تابلوهای انتقال‌دهندهٔ ثابتها؛ ۱۳. تابلوهای کار چاپ؛ ۱۴. خط انتقال رقم؛ ۱۵. خط انتقال برنامه؛۱۶. خط انتقال واحد چرخه‌زنی؛ ۱۷، ۱۸ و ۱۹. ماتریسهای قابل حمل تابلوی کار؛ ۲۰. کارت‌خوان؛ ۲۱. سوراخ‌کنندهٔ کارتها.

بود (شکل ۷۷).مدت لازم برای جمعزنی دویست میلیونیم ثانیه و برای ضرب دو عدد ده رقمی، حدود سه هزارم ثانیه بود. سیصد ثابت عددی را می‌توانستند در جدولهای کاری خزینه کنند و با کموتاتورهای دستی، پیش از اینکه عمل محاسبه آغاز شود آنها را در جای لازم قرار دهند. ورودها و خروجها توسط کارتهای سوراخدار و به کمک دستگاههای استاندهٔ IBM انجام می‌گرفت. کمی پس از آغاز ساخت دستگاه، روش برنامه‌سازی این ماشین اصلاح شد تا اینکه برنامه با جایگیری جدولهای کار ارائه.شده باشد، بدون اینکه لزومی به تغییر دادن سیمهای اتصال داشته باشیم. این امکان که در طرح اولیه پیش‌بینی شده بود و سبب اتلاف سرعت نسبی می‌شد، به برنامه‌ساز امکان می‌داد تا این ماشین را، به‌عنوان سکانسی تلقی کند و دشواریهای توافق فعالیتهای موازی ندیده گرفته شوند.

ماشین ENIACتمام سال ۱۹۴۶، در موراسکول، برای مسائل بالیستیک و فیزیک هسته‌ای به کارگرفته شد، سپس آن را اوراق و باز در لابراتوار تحقیقات بالیستیک، سوار کردند. پیشرفت آن

ادامه یافت؛ مثلاً در ۱۹۵۳ یک حافظه با چنبرهٔ مغناطیسی به آن افزوده شد و تا اکتبر ۱۹۵۵ در کار بود.

اهمیت ENIAC در پیشبرد حسابگرها تردیدناپذیر است. این نخستین حسابگر بزرگ الکترونیکی عملی بود و شمار زیادی از دانشمندان و ریاضیدانان برای بررسی و گاهی استفاده از این ماشین، از موراسکول دیدن می‌کردند. سرعت این ماشین از دیگر حسابگرهای موجود بسیار کمتر بود؛ در نتیجه در مواردی که به محاسبات مهم نیازی نبود از به کار گرفتن آن صرفنظر می‌شد. این نقص بزودی توسط گروه موراسکول شناخته شد و پیش از پایان ساختمان ENIAC، کارهای ساختمانی حسابگر EDVAC یا Electronic Discrete Variable Arithmetic Computer شروع شد.

حسابگرهای الکترونیکی با برنامهٔ ثبت‌شده: آخرین مرحلهٔ مهم ساخت حسابگرهای الکترونیکی همه جانبه، بر اندیشهٔ برنامهٔ ثبت شده متکی بود، یعنی کار محاسبهٔ آن به فرمان برنامه‌ای باشد که در حافظهٔ درون آن ذخیره شده است؛ و با مقادیر عددی وارد در محاسبات انجام می‌گیرد، نه با یک وسیلهٔ خارجی نظیر نوار سوراخدار. گفته شد که‌ببج علاوه‌بر همهٔ ساختهای خود، طرح یک حسابگر دارای برنامهٔ ثبت شده را تهیه کرده بود. طرح وی گویا برپایهٔ یک نوشتهٔ بسیار کوتاه لیدی لاولیس بود که به‌طور مبهمی پیشنهاد کرده بود اعداد نشان‌دهندهٔ عملیات باشند، نه کمیتها، و در همان بخش ماشین تحلیلگر، اعداد، کمیتها را نشان می‌دادند. با این‌حال، باید از تفسیر این عبارت با دیدی متکی براطلاعات ما از حسابگرهای کنونی و کاربرد آنها، جداً پرهیز کرد.

اینکه ببج طرح برنامه‌های ثبت شده را اندیشیده بود یا نه، هیچ مدرکی نداریم جز اینکه کار او برپیشاهنگان بعدی اثر گذاشته است. در واقع، اندیشهٔ یک برنامهٔ ثبت شده، زمانی‌که این ماشین تنها یک حافظه درونی مکانیکی ـ و بنابراین بطئی داشته باشد ـ زیاد دلچسب نبود، و تعجبی ندارد که تسوزه که تصورات وی دربارهٔ امکان یک برنامهٔ ثبت شده، که در مقاله‌اش در سال ۱۹۳۶ نسبتاً بسیار روشن نوشته شده، که طرح خود را جداً دنبال کرده باشد. همچنین باید از مقاله‌ای در ۱۹۳۶ به قلم آقای آلن تورینگ، ریاضیدان بریتانیایی یاد کرد که اندیشهٔ خودکاری کامل در آن نمایان است و شاید بتوان آن را متضمن طرح برنامهٔ ثبت شده دانست، یا لااقل اینکه برنامه‌ها را همچون اطلاعاتی تلقی می‌کرد که در حسابگر آمایش می‌شدند.

اخیراً این مطلب مطرح است که آیا به‌دنبال تماسهای تورینگ در دوران جنگ با فون نویمان و شرکت وی در ساخت ماشینهای محرمانهٔ انگلیسی نبوده است که وی توانسته است در پیشبرد

عملی طرح برنامهٔ ثبت شده نقشی داشته باشد؟

هر چند که گفته می‌شود که این سخن که مقالهٔ وی به‌طورکلی اهمیت «صرفاً نظری» دارد از ارزش مقاله وی می‌کاهد؛ در پاسخ باید گفت که باز هم منطقی است که بپذیریم که این طرح از آن گروه سازندهٔ ENIAC در ۱۹۴۴ یا ۱۹۴۵ است.

گروه ENIAC: روشن است که انگیزهٔ نخست، یافتن وسایل مناسب برای دقیق کردن سکانس عملیات آمایش با در نظر گرفتن سرعت این عملیات در یک حسابگر الکترونیکی بوده است. فرمان مستقیم با نوارها یا کارتهای سوراخدار، هر چند که منطبق با وسایل مکانیکی یا الکترومکانیکی باشد، به‌طور درمان‌ناپذیری کم اثر است و بدین جهت کاربرد کابلهای با اتصال فیشی برای فرمان دادن به انیاک، تجویز شد. اما این سیستم نواقصی داشت، از آن جمله، جابه‌جایی فیشها، برای گذر از یک برنامه به دیگری آهسته و دشوار بود. در آن زمان اندیشیدند که کابلهای با اتصال فیشی تشکیل نوعی مخزن در انیاک را بدهد، درست مثل یک آکومولاتور الکترونیکی، و اینکه چنان‌چه یک حافظهٔ درونی وسیع و سریع داشته باشیم، برای ارائه برنامه، تا حدی از آن می‌توانیم استفاده کنیم.

بدبختانه، این سؤال که چگونه گروه انیاک، طرح برنامهٔ ثبت شده را گسترش داد، به‌موضوع مورد بحث قابل توجهی تبدیل شده است. با این حال، می‌پذیرند که نخستین گفت‌وگوی مستند دربارهٔ این موضوعها و نیز دربارهٔ مزایای به‌کارگیری یک حافظهٔ درونی وسیع که دستورها و نیز اطلاعات در آنجا خزینه شوند، نخستین روایت گزارش دربارهٔ EDVAC بود که آقای فون نویمان در ژوئن ۱۹۴۵ نوشته است.

آقای جان فون نویمان یکی از نخستین ریاضیدانان زمان خود و استاد در پرینستن بود. وی در ۱۹۴۳ علاقهٔ آشکاری به ماشینهای حساب از خود نشان می‌داد و در سفری به بریتانیای کبیر، در مورد یک مسألهٔ درونیابی یک ماشین حساب NCR، روی موضوعی انگشت گذارد که در واقع یک برنامه بود، گرچه بخشی از آن با دست انجام می‌گرفت. بعداً در همین سال درگیر کارهای لوس آلاموس شد تا روشهای حساب آن را گسترش دهد، در آنجا آقای نویمان نیاز شدیدی احساس می‌شد. وی برای نخستین بار، در پایان ۱۹۴۴، زمانی‌که به‌عنوان مشاور در طرح EDVAC منصوب شده بود، با گروه انیاک همکاری کرد.

تحقیق برای ساختن حسابگری الکترونیکی مجهز به یک حافظهٔ درونی بزرگ، بی‌شبهه پیش از رسیدن فون نویمان به موراسکول شروع شده بود. بنابر گزارشی که در سپتامبر ۱۹۴۵ نوشته

است، آقایان اکرت و موکلی نخستین کسانی بودند که به کاربرد یک دیسک مغناطیسی فکر کرده بودند ـ فکری که در گزارش آقای کروفرد[1] به MIT منعکس شده‌است. آنان در ژانویهٔ ۱۹۴۴ یک «ماشین حساب مغناطیسی» طرح کردند که در آن، برنامه «روی یک وسیلهٔ مغناطیسی، دقیقاً مثل اعداد خزینه می‌شد.» بعداً این اندیشه را به سود کاربرد شبکه‌های با تأخیر جیوه‌ای رها کردند ـ شبکه‌هایی که اکرت در رادار از آنها استفاده کرده بود و با آنها دستگاهی ساخته بود که می‌توان آن را مبنای یک حافظهٔ گردشی دانست. در هر مورد، هدف تأمین صرفه‌جویی زیاد در تعداد لامپهای الکترونی‌در انیاک، با استفاده از نوع حافظه و ساخت یک ماشین با اتصال زنجیری، نه اتصال موازی بود. در ژوئیهٔ ۱۹۴۴ پذیرفته شد که ماشین بعد از انیاک، با این خطوط ساخته شود. موضوع جالب در EDVAC، که در طرح نخستین تنها مجهز به یکدهم دستگاههای ایناک بود، داشتن حافظه درونی صد برابر انیاک بود. بحثها دربارهٔ نمایه‌های EDVAC، بویژه دربارهٔ مسائل منطقی فرمان در بهار ۱۹۴۵، ادامه یافت؛ این زمانی بود که فون نویمان دستورها را به‌طور نوشته می‌داد و «طرح گزارش» را ارائه داده بود که شامل دستورهای آمرانه دربارهٔ ماشین مزبور و نظرات وی در موارد گوناگون از لحاظ خود طرح بود.

در این دوران، درنظر گرفته شده بود که با اینکه دستورها و اعداد در همان حافظهٔ درونی خزینه می‌شوند ارائه آنها مجزا باشد و عملیات ریاضیات معمولی با دستورها انجام نگیرد. بعدها این جدایی از میان برداشته شد. نخستین امتیاز مهم این کار به‌دست آمد: همراه با پیشرفت یک محاسبه، برنامه می‌توانست خوانده شده و خود را اصلاح کند؛ سپس، اندیشه‌هایی از قبیل ثباتهای نمایه‌ها و نشانی‌گذاری غیرمستقیم، نیز مورد نظر قرار گرفتند. اما اهمیت ماندنیتر، این بود که برای نخستین بار طرحی عملی و بسیار جالب برای استفاده از یک حسابگر در تهیهٔ برنامه‌های خود آن ایجاد شد و بدین‌ترتیب با پیدایش همگذار (assembler) و همگردان (compilator) و سیستمهای کاربرد و غیره به پیشرفت کار برنامه‌ای شدن کمکهایی شد.

EDVAC: طرحهای این ماشین به‌گستردگی انتشار یافته‌اند و در مرکز یک سری جریانات بودند که در تابستان ۱۹۴۶ در موراسکول پدید آمدند و تأثیر فراوانی از خود بر جای گذاشتند. اما گروه مسؤول طرح نخستین، گرفتار انشعاب شد. آقایان اکرت و موکلی شرکت خود را تأسیس کردند و آقای فون نویمان به Institut for Advanced Study بازگشت و در آنجا آقای گلدشتاین بی‌درنگ به وی پیوست. کار بر روی EDVAC در موراسکول تا ۱۹۴۹ ادامه یافت و در این مدت، طرح آن

1. Crawford

دستخوش دگرگونیهای بنیادی شد. در آن زمان این کار به لابراتوار تحقیقات بالیستیک واگذار شد و در آنجا پس از اصلاحاتی، در پایان سال ۱۹۵۱ کار آن شروع و تا دسامبر ۱۹۶۲ از آن استفاده می‌شد.

کورپوراسیون‌کامپیوتر اکرت ـ موکلی که در آغاز Electronic Control Company نامیده می‌شد حسابگر ویژهٔ BINAC را برای شرکت هواپیمایی نورت‌روپ طراحی کرد و آن را ساخت. این ماشین در ۱۹۴۸ تحویل داده شد، اما بنابه گفته‌هایی، لااقل تا سال ۱۹۵۰ از آن استفاده نشد. این شرکت توانست حسابگر UNIVAC را بسازد که ویژهٔ کارهای علمی و بازرگانی بود. ماشین UNIVACاول در ۱۹۵۱ به ادارهٔ سرشماری تحویل داده شد. در همین زمان کورپوراسیون بالا را شعبهٔ Remington Rand از Sperry Rand Corporationخرید و بخش UNIVAC آن را تشکیل داد که سالهای زیادی ارباب بیچون‌وچرای بازار حسابگرهای ممالک متحد امریکا بود.

آقای فون نویمان و همکارانش با پولهای رستهٔ توپخانهٔ ارتش امریکا: Us Army Ordnance Departmentساخت دستگاهی را که به نام ماشینهای IAS شهرت یافت ادامه دادند. پیش‌بینی شده بود که از یک لامپ الکترواستاتیکی مخزنی یا ایکونوسکوپ استفاده شود و آقای نویمان در گزارش خود به EDVAC از آن به‌عنوان بدل شبکهٔ با تأخیر جیوه‌ای برای حافظه‌های درونی بزرگ یاد کرده بود.

همچنین داشتن یک مخزن الکترواستاتیکی با ۴۰۹۶ عدد از ۴۰ بیت پیش‌بینی شده بود؛ یک بیت هر سلول مخزنی در هر یک از ۴۰ لامپ الکترونی خزینه می‌شد. بدین‌ترتیب، می‌توانستند به‌جای دور زدن، دسترسی مستقیمی به بیتها داشته باشند؛ بیتهای هر سلول حافظه، بیشتر به‌شکل موازی خوانده می‌شدند تا زنجیری.

گرچه حسابگر IAS پیش از ۱۹۵۲ به پایان نرسید، ردیف گزارشهای طرح که ساخت آن ۱۹۴۶ آغاز شده بود به‌طور وسیعی پخش شدند و برای اشخاص بسیاری به‌عنوان سندهای اساسی در نمایه‌های منطقی و برنامه‌سازی به‌کارگرفته شدند. در نتیجه، طرحهای مشابه فراوانی برای ماشینهای دو حالتی موازی، که بعدها با نام ماشینهای فون نویمان معروف شدند در کارگاهها مورد استفاده قرار گرفتند. یکی از این طرحها توسط IBMتکمیل شد و با نام IBM 701به بازار آمد. این ماشین، الگوی یک ردیف تمام ماشینهایی شد که درگذر چند سال، بر همهٔ حسابگرهای بزرگ علمی، سر آمد بود.

حسابگرهای EDVAC و IAS اگرچه بانی طرح برنامه‌های ثبت شده بودند و گرچه تأثیر بزرگی بر بسیاری از حسابگرهای دیگر در ممالک متحد امریکا و کشورهای دیگر داشتند، در واقع نخستین حسابگرهای عملی بر برنامه ثبت شده نبودند. همان‌طورکه در گذشته گفته شد ماشین IBM SSEC که در ۱۹۴۷ به‌کار گرفته شد، این امکان را داشت که به ماشینی تبدیل شود که دستورهای خزینه شده در حافظهٔ هشت سلولی خود را دست‌کاری و اجرا کند و دقیقاً این یک حسابگر دارای برنامهٔ ثبت شده به‌معنی معمولی کلمه بود و درعین حال اساساً ماشینی بود که با نوار، طبق سنت Mark I هاروارد، یا مدل V لابراتوارهای بل، هدایت می‌شد.

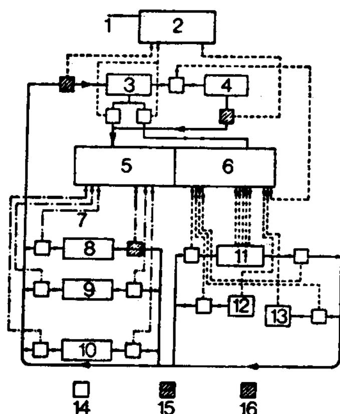
طرح منچستر: نخستین حسابگر واقعاً با برنامهٔ ثبت شده، احیاناً یک ماشین بسیارکوچک آزمایشی بود که در سال ۱۹۴۸ در دانشگاه منچستر توسط آقایان ف. س.ویلیامز و ت. کیلبورن[1] ساخته شد. منظور از ساخت آن، آزمایش لامپهای الکترونی ویلیامز بود که بتازگی به‌عنوان حافظهٔ الکترواستاتیکی آماده شده بود. این حسابگر با داشتن وسایل بسیار ابتدایی برای ورودی و خروجی و ظرفیت مخزنی بسیار کم، دقیقاً یک حسابگر آزمایشی بود؛ اما باید گفت که فواید زیادی داشت که هم سنت حسابگرسازی دانشگاه منچستر را زنده نگاه می‌داشت و هم به این دلیل که بروشنی، تنها نتیجهٔ کارهای موراسکول نبود.

طرح منچستر زیر نظر م. هـ. ا. نیومن، که مسؤول ماشینهای محرمانهٔ کشف رمز، «کولوس»ها بود، پیش می‌رفت.

آقایان ویلیامز و کیلبورن که در دوران جنگ برای تکمیل رادار می‌کوشیدند، در ۱۹۴۶ به نیومن پیوستند. آنان بعداً تأیید کردند که از نیومن اصول اساسی حسابگرهای با برنامه ثبت شده را آموختند. نفر دیگری که روی «کولوسها» کار می‌کرد، آقای ی. ج. گود[2] بود که وی نیز در سالهای اولیه، به طرح منچستر تعلق داشت. از چنین روابطی با گروه کولوس و نیز با آلن تورینگ (که تصادفاً بعدها به‌طرح منچستر پیوست) دربارهٔ اصالت خانوادهٔ ماشین منچستر، ناگزیر قدری تردید پدید می‌آید.

ماشین EDSAC کمبریج: دربارهٔ ماشین Electronic Delay Storage)EDSAC (Automatic Calculator که توسط گروه تحت رهبری آقای موریس ویلکس[3] درکمبریج ساخته شد و عموماً آن را نخستین حسابگر با برنامه ثبت شده می‌دانند هیچ تردیدی نیست. ماشین EDSAC مستقیماً از EDVAC الهام گرفته بود. آقای ویلکس یکی از شرکت‌کنندگان سال ۱۹۴۶ درکار موراسکول بود. وی در دوران جنگ روی رادار هم کار می‌کرد. بعداً وی به لابراتوار ریاضی کمبریج بازگشت. و در آنجا، پیش از آغاز جنگ با یک تحلیلگر تفاضلی و

1. T. Kilburn 2. I. J. Good 3. M. Wilkes



شکل ۷۸.نمایهٔ EDSAC.
۱. راه‌اندازی؛ ۲. واحد کنترل اصلی؛ ۳. حافظهٔ فرمان؛ ۴. حافظهٔ کنترل؛ ۵ و ۶. تفسیرکنندهٔ فرمان، نشانی (۵)، عمل (۶)؛ ۷.کابل انتقال؛ ۸، ۹ و ۱۰. حافظهٔ ۱ تا ۳۲؛ ۱۱. واحد ریاضیات؛ ۱۲. خروجی؛ ۱۳. ورودی؛ ۱۴. درب بسته؛ ۱۵. درب باز؛ ۱۶. درب به‌هنگام انتقال باز است.

ماشینهای معمولی محاسبات دفتری کار کرد.

در آغاز ۱۹۴۷ کار روی EDSAC شروع شد و این ماشین نخستین برنامهٔ خود را در ماه مهٔ ۱۹۴۹ انجام داد. در مقایسه با طرحهای آن زمان، این ماشین نسبتاً محقر بود ۵۱۲ سلول حافظهٔ ۳۵ بیت مخزنی، شبکه با تأخیر آن را تشکیل می‌دادند. دارای ۳۰۰۰ لامپ الکترونی بود (شکل ۷۸). از مشخصات برجستهٔ این ماشین، مجموعه «ترتیبات اولیه» آن بود، برنامه‌ای کابلی که نقش آن چیزی را داشت که امروز به آن: همگذار و خورانندهٔ ابتدایی گفته می‌شود. این از میان کارهای ارزشمند فراوان دیگر، نخستین ابتکاری بود که گروه کمبریج در کار برنامه‌سازی انجام داده است.

در طی چند سال پس از ساخت حسابگرهای الکترونیکی دارای برنامهٔ ثبت شده، در جاهای مختلف، چه ممالک متحد امریکا و چه کشورهای دیگر، این نوع حسابگرها ساخته شدند و صنعت کامپیوتر، در این زمان پیدایش یافت. این تکنولوژی نوین، بسرعت به‌پیش رفت. کامپیوترها از نظر سرعت و ظرفیت با گامهای غول‌آسا به جلو رفتند و کاربرد آنها در انواع مختلف به‌طور روزافزون گسترش یافت.

تحول تکنولوژیکی: تفاوت عمدهٔ کامپیوترهای الکترونیکی رقمی نوین با حسابگرهای دارای برنامهٔ ثبت شده، حتی نخستین آنها، در پیشرفت وسیعی است که در رشتهٔ تکنولوژی الکترونیک نوین پدید آمده است. این پیشرفتها اساس تبدیل حسابگرها ـ که صرفاً به‌عنوان یک وسیلهٔ قوی ریاضی که تنها در تعداد معدودی از لابراتوارهای دولتی یا دانشگاهی وجود دارند ـ به کامپیوترهایی است که عملاً در مقیاس بسیار وسیع در همهٔ نقاط جهان، برای انواع روزافزون کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حقیقت پیکان صنایع کاملاً نوین را تشکیل می‌دهند.

عده‌ای تمایل دارند که پیشرفت کامپیوترهای جدید را به‌عنوان رشته‌ای «زاینده»، رشته‌ای که همراه با تغییرات مهم تکنولوژی الکترونیک پیش می‌رود، معرفی کنند. درگذر نخستین زایش که در ۱۹۵۸ انجام گرفت، تنها از لامپهای الکترونیکی استفاده می‌شد. حسابگرها براساس تعداد بسیار کمی از مدول (واحد پیمانه‌ای) های گوناگون ساخته می‌شدند که هر مدول تعداد عملیات منطقی ساده، مثلاً و / یا را داده‌پردازی می‌کردند، یا مقدار یک عدد دوحالتی ثبت شده را نشان می‌دادند. در نخستین حسابگرها، چنین مدولهایی، نوعاً تنها دارای یک دیود و مقاومتها و ظرفیتهای آن بودند. آنها بر یک پایهٔ مکانیکی نصب می‌شدند که فیش آن در مجموعه‌ای از پایه‌ها فرو می‌رفت تا ارتباط برقی مدولها با یکدیگر تأمین شود. بعدها در آغاز سالهای ۵۰، از دیودها برای اکثر عملیات و / یا استفاده شد، اما برای وارونه‌سازی و فزون‌سازی تکانه‌ها بازهم از لامپ الکترونی استفاده می‌شد. اندازه، مصرف و پایداری محدود در کار این لامپها چنان بود که حتی بلندپروازترین حسابگرهای اولیه، با همهٔ ابهتی که داشتند، اکنون به‌نظر ظرفیتی فوق‌العاده محقر دارد. مثلاً حسابگر Whirl Wind I ساخت MIT که در مارس ۱۹۵۱ به‌کار گرفته شد، تقریباً ۱۶۰۰۰ لامپ الکترونی داشت و می‌توانست حدود ۲۰۰۰ دستور را در ثانیه اجرا کند و در اول تنها می‌توانست ۲۵۶ سلول حافظه شانزده بیتی (عناصر بار برقی در سطح لامپهای الکترواستاتیکی مخزن) خزینه کند و بدین‌ترتیب، ظرفیت آن حتی کمتر از مینی کامپیوترهای نوین بود.

درگذر نخستین نسل، تکنولوژی آغازی خزینه‌سازی، انواع شبکه‌های با تأخیر، لامپهای الکترواستاتیکی و غیره جای خود را به ماتریسهای حلقه‌های مغناطیسی واگذاردند که هریک از جهتهای مغناطیسی کردن نشانهٔ یک رقم دوحالتی بود. این ماتریسهای حلقه‌ای گرچه در دههٔ ۴۰ معمول شده بودند، هنوز هم پس از تحمل اصلاحات عمده، بفراوانی به‌کار گرفته می‌شوند، اما اینک نیمرساناها جانشین آنها شده‌اند، خزینه کردن اطلاعات در سطح مغناطیسی مثل نوارها، استوانه‌ها و دیسکها نیز پیشرفت کرده است. در بعضی از حسابگرهای اولیه، یک استوانهٔ مغناطیسی، حافظهٔ اصلی را تشکیل می‌دهد؛ مثلاً در IBM 650 که در سال ۱۹۵۳ ساخته شد، هزارتایی از آن

به‌کار گرفته شدند، استوانه کوچکی با ۱۲۵۰۰ دور در دقیقه وجود داشت و می‌توانست با زحمت ۲۰۰۰ عدد ۱۰ رقمی اعشاری خزینه کند. نسل بعدی این دیسکها و استوانه‌های مغناطیسی، که بسیار تکمیل شده‌اند، هنوز هم اشکال اساسی حافظه‌های کمکی کامپیوترهای جدید هستند. ظرفیت بزرگترین آنها که از دیسکهای مغناطیسی تشکیل شده است در ردیف هزاران مگا اوکتت است (یک مگا اوکتت برابر یک میلیون اوکتت می‌باشد، هر اوکتت از هشت رقم دو حالتی تشکیل شده است).

در پایان نخستین نسل، صنعت حسابگرها، کاملاً مستقر شد و بیشتر حسابگرهای جدید را خود سازندگان تبلیغ می‌کردند نه دانشگاهها یا مؤسسات پژوهشی. در اروپا و نیز در ممالک متحد امریکا تعدادی سازندگان حسابگر وجود دارند، اما دست بالاتر را شرکت IBM دارد. کاربرد کامپیوترها برای آمایش کاربردهای بازرگانی، اهمیت زیادی یافته است و کامپیوترهایی نظیر IBM 705 و UNIVAC II در این جهت، پیشرفتهای ویژه‌ای داشته‌اند.

نسل دوم کامپیوترها با کاربرد ترانزیستورها به‌جای لامپهای الکترونی مشخص می‌شود. همان‌طورکه معلوم است ترانزیستور در لابراتوار بل تلفن ساخته شد و در سال ۱۹۴۸ به بازار آمد. آنها در طی ده سال برای لامپهای الکترونی، جانشینی کوچک، ارزان، سریع و دارای کار مطمئن شدند. نسل دوم کامپیوترها از مدولهای قسمتهایی نظیر ترانزیستورها، خازنها، دیودها و مقاومتها ساخته می‌شدند که روی صفحات مدارهای چاپی نصب می‌گردیدند. ترانزیستور، ساخت حسابگرهای بسیار نیرومندتر از حسابگرهای لامپهای الکترونی را ممکن ساخت. مثلاً حسابگر CDC 6600 که نخستین آن در ۱۹۶۴ نصب شد، دارای بیش از ۵۰۰۰۰۰ ترانزیستور بود و می‌توانست بیش از سه میلیون عمل را در هر ثانیه انجام دهد. از سوی دیگر، این نسل همچنین شاهد آغاز صنعت میکروپروسسور (ریز پردازشگر) با حسابگرهایی نظیر DEC PDP-5 در ۱۹۶۳ بوده است.

معمولاً می‌پذیرند که نسل دوم در ۱۹۶۶ با پیدایش مدار مجتمع، که نوعی ادامهٔ تکنولوژی ترانزیستورهاست، آغاز می‌شود. بسیاری از اجزای سازندهٔ آن روی تنها یک قطعهٔ کوچک یا یک «کک» از سیلیسیم نیمرسانا ایجاد شده‌اند. تفاوت نسل دوم با سوم بسیار جزئی است. مثلاً IBM از تکنولوژی دو رگه در ساخت کامپیوترهای سری ۳۶۰ استفاده کرد. این سری کامپیوترهای همساز یا متوافق، که کارهای بسیار گوناگونی انجام می‌دهند و ویژهٔ هم محاسبات علمی و هم آمایش اطلاعات تجارتی هستند در سال ۱۹۶۴ ساخته شدند و نخستین کاربرد آنها در ۱۹۶۵ بود. همین تکنولوژی را IBM برای ساخت کامپیوتر ۱۸۰۰ خود به‌کار گرفت، که کامپیوتری با کنترل فراروندها

و کارآنی (بلا درنگ) بود که در مقایسه با Whirlwind I بسیار بالاتر است. کامپیوتر ۱۸۰۰، شرکت IBM که در اساس مشابه این کامپیوتر است، پنج بار سریعتر عمل می‌کند درحالی‌که بهای آن تنها یکدهم Whirlwind I است که پانزده سال پیش از آن ساخته شده است.

تکنولوژی مدارهای مجتمع، از زمان پیدایش به بعد، برای کاربرد در رشته‌ای که میکروپروسسور (ریزپردازش) نامیده می‌شود پیشرفت فراوان داشته است. این مدارها در واقع حسابگرهای کامل واقع برروی یک «کک» کوچک سیلیسیم هستند و هم‌اکنون در دسترس قرار دارند. در واقع این پردازنده‌ها در یک حسابگر الکترونیکی جیبی گذارده شده‌اند که در این سالها به تعداد فراوان ساخته می‌شوند. مدارهای مجتمع که برمبنای نسبت کار به بها، از همان برتری ترانزیستور نسبت به لامپهای الکترونی برخوردار هستند، به‌همین‌دلیل پایهٔ گسترش زیاد میدان کاربرد کامپیوترها بوده‌اند.

پیشرفتهای تکنولوژی کامپیوترها در این اواخر به دگرگونیهای بزرگی در طرز برنامه‌نویسی و کاربرد کامپیوترها انجامیده است.

بسیاری ازکارهای جزئی مربوط به برنامه‌نویسی، جهت کامپیوترها، اینک توسط خود کامپیوترها انجام می‌گیرد؛ و نیز اتخاذ تصمیمات جزئی لازم برای آزمایش ساماندهی به کاری که کامپیوتر باید انجام دهد، اکثراً به‌عهدهٔ خود کامپیوتر است. این تصمیمات در برنامه‌های ویژه‌ای که «سیستم به کارگیری» را تشکیل می‌دهند، به رمز در می‌آیند. با این وجود، وظیفهٔ برنامه‌سازی یک کامپیوتر برای یک مورد پیچیده، هنوز وظیفهٔ بسیار دشواری است و یکی از عوامل اساسی محدودیت کاربرد کامپیوترها به‌شمار می‌رود.

نکتهٔ دیگری که باید گفته شود این است که کاربردهای فعلی یا گذشتهٔ کامپیوترها بدون هیچ نقصی هم نیست. قدرت فراوان کامپیوتر می‌تواند عاقلانه یا جاهلانه برای بهترین یا بدترین مقاصد به‌کار گرفته شود. می‌توان امیدوار بود که تراز نهایی مثبت باشد و کارهایی که ما با کامپیوتر انجام می‌دهیم به‌طورکلی ارزش زحماتی را که دانشمندان در پیشبرد آن متحمل شده‌اند داشته باشند.

کتاب‌شناسی بخش سوم

فصل ۱

ABRIBAT (M.), Cinquante ans de photographie, in *Cinquante ans de perfectionnement technique*, 1952.
BRAULT (J.), *Histoire de la téléphonie*, Paris, 1890 (deux chapitres consacrés au phonographe d'Edison et au graphophone de Tainter).
DIDIER (A.), *Physique appliquée à la reproduction des sons et des images*, Paris, 1964.
HEMARDINQUER (P.), *L'enregistrement magnétique*, Limoges, 1952.
— *Le phonographe et ses merveilleux progrès*, Paris, 1930.
HENDRICKS (G.), *The Edison Motion Picture Myth*, Berkeley, 1961.
KING (W. James), The Development of Electrical Technology in the 19th Century : the Telegraph and Telephone, *U.S. National Museum Bulletin*, n° 228, 1962.
LÉCUYER (R.), *Histoire de la photographie*, Paris, 1945.
VIVIÉ (J.), *Histoire du cinéma*, Paris, 1946.

فصل ۲

BRAULT (J.), *Histoire de la téléphonie*, Paris, 1890.
JACQUET (M.), LAJARRIGE (P.), LETELLIER (G.), Le téléphone et sa chronique, *Revue française des Télécommunications*, à partir de 1972.
JOLY (P.), Télégraphie, in *La science, ses progrès, ses applications*, t. II, 1934.
MONTORIOL (E.), *Les systèmes de télégraphie et téléphonie. Origine, évolution, état actuel*, Paris, 1922 (fondamental).
REYNAUD-BONIN (E.), Le télégraphe et le téléphone, leur contribution depuis cinquante ans à l'évolution économique et industrielle mondiale, in *Génie civil*, 1880-1930.

فصل ۳

BOULANGER (J.), FERRIÉ (G.), *La télégraphie sans fil et les ondes électriques*, 1907.
CAZENOBE (J.), *La genèse des structures technologiques en radioélectricité*, 1970. Thèse dactylographiée.
TISSOT (C.), *Manuel élémentaire de télégraphie sans fil*, 1918.
TURPAIN (A.), *Les applications pratiques des ondes électriques*, 1902.
VASSEUR (A.), *De la T.S.F. à l'électronique*, 1975.

فصل ۴

BEAUCLAIR (W. de), *Rechenen mit Maschinen : Eine Bildegeschichte der Rechentechnik*, 1968.
Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, numéro spécial sur les machines à calculer, sept.-oct. 1920.
EAMES (C. et R.), *A Computer Perspective*, 1973.
MORRISON (P. et E.), *Charles Babbage and his Calculating Engines*, 1961.
PERES (J.), BRILLOUIN (L.) et COUFFIGNAL (L.), *Les grandes machines mathématiques*, 1949.
RANDELL (B.), *The Origins of Digital Computers : Selected Papers*, 1973.
ROSEN (S.), Electronic Computers : A Historical Survey, in *Computing Surveys*, 1, 1, 1969.
TATON (R.), FLAD (J.-P.), *Le calcul mécanique*, 1963.

کتاب‌شناسی عمومی

نوشتارهای مربوط به جنبهٔ فنی تکنیکها در دوران ما، هم فراوان و هم تا حدودی از لحاظ مطالب فقیر هستند. این نوشتارها در مجلات ادواری حرفه‌ای: تک‌نگاره‌ها دربارهٔ یک زمینهٔ فنی بسیار محدود، یا دربارهٔ یک کارگاه، از نظر بررسیهای کوتاه و موردی غنی می‌باشند. فهم این نوشته‌ها غالباً دشوار است و می‌توان گفت که تقریباً همهٔ آنها گمراه‌کننده هستند.

کاملاً روشن است که مهندسان و تکنسین‌های در سطح کاملاً بالا علاقه‌ای به بررسی تاریخ حرفهٔ تخصصی خود ندارند. آنان به‌طورکلی فرصت چندانی برای این کار ندارند و از منابع مورد مشورت، تنها به موارد مجزا از یکدیگر مراجعه می‌کنند. این نوع نوشتارها، بندرت می‌توانند شواهد غیرقابل تردید را در دسترس تاریخ‌نویسان قرار دهند.

وانگهی، بررسیهای کلی مطالعات عمیق رشته‌های اساسی تکنیک در زبان فرانسه و دیگر زبانها، اکثر تألیفات مهم، شرایط اقتصادی یا اجتماعی تاریخ کل صنعت یا یک رشتهٔ خاص را بررسی کرده‌اند. توجه به تحول تکنیکهای تولید یا ارتباطات، گاهی منطقی می‌نماید، گرچه غالباً محل شک‌وتردید است.

در زمان کنونی، هنوز هم مؤثرترین روش بررسی تاریخ تکنیکها، مراجعه به مآخذ چاپ شده است. کتابهای فنی فراوانی در یک سدهٔ اخیر به چاپ رسیده‌اند. دربارهٔ هر موضوع می‌توان به رساله‌های، یادداشتها و مقالات دست اولی، که در محدودهٔ زمانی معینی چاپ شده‌اند، مراجعه کرد و به نتایج مطلوب دست یافت. ما در کتاب‌شناسی هر بخش نمونه‌هایی آورده‌ایم و هم‌ارز این

نمونه‌ها در زبانهای دیگر هم موجود هستند. از ذکر نام مجلات ادواری تکنیکی، که در برگه‌دان هر کتابخانه می‌توان به آنها دست یافت و متضمن گزینش می‌باشد، معذوریم.

دو مجموعه‌ای که نیمه دوم سدهٔ نوزدهم را دربر دارند:

و ادامهٔ آن با:

فصل ۱

AFTALION (A.), *Le développement de la fabrique et le travail à domicile dans les industries de l'habillement*, Sirey, 1906.

BERGERY (C. L.), *Économie industrielle ou science de l'industrie*, Metz, 1829-1933, 3 vol.

BERNOUX (Ph.), MOTTE (D.), SAGLIO (J.), *Trois ateliers d'O.S.*, Éd. Ouvrières, 1973.

Cahiers d'étude de l'automation et des sociétés industrielles (depuis 1958, avec interruptions), CNRS, sous la direction de P. NAVILLE (cf. n° 3, *Division du travail, classe ouvrière et syndicalisme*).

CHRISTIAN (G. J.), *Vues sur le système général des opérations industrielles ou plan de technonomie*, Paris, Huzard, 1819.

COLLINET (M.), *Essai sur la condition ouvrière, 1900-1950*, Éd. Ouvrières, 1951.

DELAMOTTE (Y.), *Recherches en vue d'une organisation plus humaine du travail industriel*, La Documentation française, 1972.

DESRUELLES (J.), *Destructuration et restructuration de la population ouvrière à la fin du XIX^e^ siècle*, mémoire de maîtrise Nanterre sous la dir. de M. LÉVY-LEBOYER (inédit), 1972.

DESERT (G.), *Une société rurale au XIX^e^ siècle. Les paysans du Calvados, 1815-1895*, 1975, 3 vol.

DOFNY, DURAND, REYNAUD, TOURAINE, *Les ouvriers et le progrès technique. Étude de cas : un nouveau laminoir*, Colin, 1966.

DUMONT (J. P.), *La fin des O.S. ?*, Mercure de France, 1973.

FREYSSINET (A.), *Le processus de déqualification-surqualification de la force de travail. Éléments pour une problématique de l'évolution des rapports sociaux*, CSU, 1974.

FRIEDMANN (G.), *La crise du progrès. Esquisse d'histoire des idées (1895-1935)*, Gallimard, 1936.

— *Problèmes humains du machinisme industriel*, Gallimard, 1946.

— *Où va le travail humain ?*, Gallimard, 1950.

— *Le travail en miettes*, Gallimard, 1956.

FRIEDMANN (G.), NAVILLE (P.) et TREANTON (R.), *Traité de sociologie du travail*, Colin, 1961-1962, 2 vol.

FRIDENSON (P.), *Histoire des usines Renault*, I. *Naissance de la grande entreprise, 1898-1939*. Seuil, 1972.

— *Le monde de l'automobile*, numéro spécial du *Mouvement social*, oct.-déc. 1972.

FRIDENSON (P.) et LAUX (J. M.), *La révolution automobile*, 1975.

FURIA (D.) et SERRE (P. C.), *Techniques et sociétés. Liaisons et évolutions*, Colin, 1971.

GORZ (A.) (sous la direction de), *Critique de la division du travail*, Seuil, 1973.

GUILLERME (J.) et SEBESTIK (J.), Les commencements de la technologie, *Thalès*, 1966, PUF, 1968.

GUINOT (J.-P.), *Formation professionnelle et travailleurs qualifiés depuis 1789*, Domat-Montchrestien, 1946.

ISAMBERT-JAMATI (V.), *L'industrie horlogère dans la région de Besançon. Étude sociologique*, PUF, 1955.

JARS, *Voyages métallurgiques ou recherches et observations sur les mines et forges de fer, la fabrique de l'acier, celle du fer blanc*, Paris, 1774-1781.

KROPOTKINE (P.), *Champs, usines et ateliers ou l'usine combinée avec l'agriculture et le travail cérébral avec le travail manuel*, Paris, 1910.

LECOUX (Y.), *Du compagnon au technicien. L'École Diderot et l'évolution des qualifications (1873-1973). Sociologie de l'enseignement technique français*, Paris. Technique et vulgarisation, 1972.

LEVASSEUR (É.), *Histoire des classes ouvrières en France depuis 1789 jusqu'à nos jours*, Paris, 2 vol., 2e éd., 1904.

— *Questions ouvrières et industrielles sous la IIIe République*, Paris, 1907.

MALLET (S.), *La nouvelle classe ouvrière*, Seuil, 1963.

MANUEL (F. E.), L'introduction des machines en France et les ouvriers. La grève des tisserands de Lodève en 1845, in *Revue d'histoire moderne*, 1935.

MARGLIN (S.), Origines et fonctions de la parcellisation des tâches. A quoi servent les patrons ?, in *Critique de la division du travail*, Seuil, 1973.

MELUCCI (A.), *Idéologies et pratiques patronales pendant l'industrialisation capitaliste. Le cas de la France*, thèse de troisième cycle sous la dir. d'A. TOURAINE, inédit, 1974.

MONTGOMERY (D.), The new unionism and the transformation of workers consciousness in America, 1909-1922, in *Journal of Social History*, 1974.

— *Worker's control of machine production in the 19th century*, prepared for organisation of American historians convention, 1975.

MOSCOVICI (S.), *Reconversion industrielle et changements sociaux. Un exemple : la chapellerie dans l'Aude*, Paris, Colin, 1961.

MOSCOVICI (S.) et BARBICHON (S.), *Modernisation des mines, conversion des mineurs*, ministère du Travail, Paris, 1962.

MOTHE (D.), *Journal d'un ouvrier*, Paris, Éd. de Minuit, 1959.

— *Militant chez Renault*, Seuil, 1965.

MOTTEZ (B.), *Système de salaire et politiques patronales. Essai sur l'évolution des pratiques et des idéologies patronales*, Paris, CNRS, 1966.

— *La sociologie industrielle*, Paris, PUF, 1971.

MOUTET (A.), Les origines du système de Taylor en France. Le point de vue patronal, 1907-1914, in *Le Mouvement social*, 1976, no 1.

NACCACHE (D.), *Théorie de l'organisation des entreprises industrielles en France au début du XIXe siècle. Analyse d'ouvrages parus entre 1800 et 1820*, mémoire de maîtrise sous la dir. de P. VILAR, Paris, 1970.

NAVEL (G.), *Travaux*, Paris, 1945.

NAVILLE (P.), *Essai sur la qualification du travail*, Paris, 1956.

— *Temps et technique. Les structures de la vie de travail*, Droz Minard, 1972.

— *Vers l'automatisme social ? Problèmes du travail et de l'automation*, Paris, Gallimard, 1963.

NAVILLE (P.) et coll., *L'automation et le travail humain. Rapport d'enquête (France, 1957-1959)*, Paris, CNRS, 1961.

PARIAS (I. H.) (sous la direction de), *Histoire générale du travail*, t. 3, FOHLEN (C.) et BEDARIA (F.), t. 4, TOURAINE (A.) et MOTTEZ (B.), Paris.

PERROT (M.), *Les ouvriers en grève, France (1871-1890)*, Paris, Mouton, 1974.

POUGET (E.), *L'organisation du surmenage*, Paris, 1914.

REYNAUD (J. D.) et TREANTON (R.), La sociologie industrielle, 1951-1962. Tendances actuelles de la recherche et bibliographie, *Current Sociology, La sociologie contemporaine*, vol. 12, no 2, 1963-1964. Basil Blackwell, 1964 (1 351 titres recensés et analysés).

ROLLE (P.), L'automation et la qualification du travail, in *Annales, ESC*, 1967.
— *Introduction à la sociologie du travail*, Larousse, 1971.
SCOTT (J.), *The glass workers of Carmaux (1848-1914). French craftsmen and political action in a nineteenth century city*, Harvard Univ. Press, 1974.
Sociologie du travail, avec des numéros spéciaux : *Crise de la rémunération au rendement*, 1964, nº 2. *La qualification du travail*, 1973, nº 2. *Science, rationalité et industrie*, 1972, nº 1. *Conditions de travail. Le taylorisme en question*, 1974, nº 4.
TOURAINE (A.), Sur les transformations de la structure du travail de la main-d'œuvre, *Droit social*, mai 1952.
— La qualification du travail. Histoire d'une notion, *Journal de psychologie*, 1955, nº 1.
— *L'évolution du travail ouvrier aux usines Renault*, Paris, CNRS, 1955.
— *La conscience ouvrière*, Paris, Seuil, 1966.
TOURAINE (A.) et divers, *Les travailleurs et les changements techniques. Une vue d'ensemble des recherches*, OCDE, 1965.
TREMPE (R.), *Les mineurs de Carmaux, 1848-1914*, Paris, Éd. Ouvrières, 1971, 2 vol.
TURGAN (L.), *Les grandes usines de France. Tableau de l'industrie française au XIXe siècle*, Paris, 1859-1898, 38 vol.
VERRY (M.), *Les laminoirs ardennais. Déclin d'une aristocratie professionnelle*, Paris, PUF, 1955.
VIAL (J.), L'ouvrier métallurgiste français. *Droit social*, févr. 1950.
WALKER (Ch.) et GUEST (R.), *The man on the assembly line*, Harvard Univ. Press, 1952.
YOVANOVITCH (D.), *Le rendement optimum du travail ouvrier. Étude sur les stimulants modernes de l'activité ouvrière*, Paris, 1923.
— *Les stimulants modernes. Essai de bibliographie systématique*, Paris, 1923.

فصل ۲

ALDINI (J.), *Art de se préserver de l'action de la flamme*, Paris, 1830.
AMAR (J.), *Le rendement de la machine humaine*, Paris, 1910.
— *Le moteur humain*, Paris, 1914.
— *L'organisation physiologique du travail*, Paris, 1917.
AMONTONS, Mémoires, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1699, p. 123.
ARCET (J. P. J. d'), *Mémoire sur l'art de dorer le bronze*, Paris, 1818.
BELIDOR, *Architecture hydraulique*, Paris, 1737-1739.
— *La science des ingénieurs*, Paris, 1749.
BERTHELOT (M.), *La révolution chimique, Lavoisier*, Paris, 1890.
BROUHA (L.), *Physiologie et industrie*, 1963.
CARRÉ (médecin général), Historique de la médecine du travail et de l'ergonomie dans la marine, in *Revue maritime*, nº 274, 1970.
CAZAMIAN (P.), *Leçons d'ergonomie industrielle*, 1973.
COUILLAULT (S.), *L'humanisation du travail dans l'entreprise industrielle*, 1973.
COULOMB, ... Expériences sur la force des hommes... et... Observations sur les moulins à vent..., in recueil *Traité des machines simples*, 1821.
DENAYROUZE (A.) et (L.), *Des aérophores et de leurs applications*, Paris, 1872.
DESAGULIERS (J. T.), *Cours de physique expérimentale*, Londres, 1734 et Paris, 1751.
EDHOLM (O. G.), *La science du travail, l'ergonomie*, Paris, 1966.
FAVERGE, LEPLAT, GUIGUET, *L'adaptation de la machine à l'homme*, Paris, 1958.
FAVERGE et OMBREDANNE, *L'analyse du travail*, Paris, 1955.
FREMONT (H. de), VALENTIN (M.), *L'ergonomie, l'homme et le travail*, Paris, 1970.

Gilbreth (F. B.), *Étude des mouvements*, Londres, 1911, trad. franç., 1928.
Grandjean (E.), *Précis d'ergonomie*, Paris, 1967.
— *Ergonomics of the home*, Londres, 1973.
Guyton de Morveau, Recherches pour perfectionner la préparation des couleurs, *in* t. III des *Mémoires de l'Ac. de Dijon*, 1783.
Hales, *Description du ventilateur*, Londres, 1741, Paris, 1744.
Kayser (Ch.), *Physiologie du travail et du sport*, Paris, 1947.
La Hire, Mémoires, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1699, p. 153 et 1702, p. 261.
Lahy (J. M.), *Système Taylor, physiologie du travail, utilisation rationnelle du moteur humain*, 1913.
Lefèvre (J.), *Chaleur animale et bioénergétique*, Paris, 1911.
Lehmann (G.), *Physiologie pratique du travail*, 1955.
Marey (E. J.), *La machine animale*, 1873.
— *La méthode graphique*, 1878.
— *Développement de la méthode graphique par l'emploi de la photographie*, 1885.
Montmollin (M. de), *Les systèmes hommes-machines*, Paris, 1967.
Morgan, Cook, Chapanis, Lund, *Human engineering guide to equipment design*, 1963.
Murrel (K. F. H.), *Ergonomics, man in his working environment*, 1965.
Patissier, *Les maladies des artisans*, 1822.
Portal, *Observations sur les effets des vapeurs méphitiques*, 1787.
Ramazzini, *Essai sur les maladies des artisans (1701-1713)*, traduit du latin par A.-M. de Fourcroy, 1777.
Scherrer (J.), Monod (H.), Wisner (A.), *Physiologie du travail, ergonomie*, Paris, 1967.
Sollier (P.) et Draps (J.), *La psychotechnique*, Bruxelles, Paris, 1935.
Taylor (F. W.), *Organisation scientifique*, 1915.
Tissot, *De la santé des gens de lettres*, Lausanne, 1768.
Tenon, Les maladies des chapeliers, in *Mémoires de l'Institut*, 1806.
Valentin, *Introduction à l'histoire de l'ergonomie*, IXe Congrès de la self, 1972.
— Le prix des arts insalubres à l'Académie royale des Sciences en 1783, in *Archives des maladies professionnelles*, n° 4/5, 1973.
— *De Ramazzini à Villermé. Les précurseurs de l'ergonomie*, Congrès de la self, 1969.
— Clemenceau précurseur de la médecine du travail (la lutte contre la céruse), in *Histoire des Sciences médicales*, n° 3, 1973.
— Le prix Ravrio (Jean d'Arcet), in *Archives des maladies professionnelles*, 1970.
— Histoires anciennes de la protection de la main, in *Archives des maladies professionnelles*, 1974.
— Chroniques : Les grands préventeurs et les précurseurs de l'ergonomie, in *Revue de l'Association française des techniciens, ingénieurs de sécurité et médecine du travail*, *Sécurité et médecine du travail de 1969 à 1977*.
Vauban, *Oisivetés de M. de Vauban, ou les pensées d'un homme qui n'avait pas grand chose à faire*, publiées par Augoyat, 1842-1845.
— *Le directeur général des fortifications*, La Haye, 1685.

Villermé (L. R.), *Tableau de l'état physique et moral des ouvriers*, 1840.
— Des accidents produits par les appareils mécaniques dans les ateliers, in *Journal des économistes*, 1850.

فصل ۳

Argyris (C.), *Participation et organisation*, 1957.
Babbage (C.), *De l'économie des machines et des manufactures*, 1832.
Barnes (R. M.), *Études des mouvements et des temps*, 1937.

BAUER (G.), dit AGRICOLA, *De re metallica*, XVI[e] siècle.
BELIDOR (B. F. de), *Architecture hydraulique*, 1750.
BERTALANFFY (L. von), *Théorie générale des systèmes*, 1968.
BOILEAU (É.), *Livre des métiers*, 1268.
BURNHAM (J.), *L'ère des organisateurs*, 1947.
COULOMB (C. de), *La force des hommes*, 1798.
COURCELLE-SENEUIL (J.-G.), *Traité pratique des entreprises*, 1854, réimprimé sous le titre de *Manuel des affaires*, 1855.
DRUCKER (P. F.), *La pratique de la direction des entreprises*, 1955.
DUBREUIL (H.), *Standards*, 1929.
FAYOL (H.), *Administration industrielle et générale*, 1916.
FORD (H.), *Ma vie, mon œuvre*, 1929.
FORRESTER (J.), *La dynamique industrielle*, 1961.
FRIEDMANN (G.), *Le travail en miettes*, 1956.
GERBIER (J.), *Organisation, méthodes et techniques fondamentales*, 1976.
GILBRETH (F.), *L'étude des mouvements*, 1911.
HERZBERG (F.), *Le travail et la nature de l'homme*, 1966.
LICKERT (R.), *Nouveaux modèles de management*, 1961.
MAC GREGOR (D.), *La dimension humaine de l'entreprise*, 1960.
PACCIOLI (L.), *Summa de arithmetica...*, 1494.
RIMAILHO (É.), *L'organisation à la française*, 1936.
ROETHLISBERGER (F. J.) et DICKSON (W. G.), *Le management et le travailleur*, 1939.
SAVARY DES BRÛLONS, *Dictionnaire du commerce*, 1[re] édition 1723-1730.
SIMON (H. A.) et MARCH (J. G.), *Les organisations*, 1958.
TAYLOR (F.-W.), *Principes d'organisation scientifique*, 1911.
VAUBAN (S. Le Prestre de), *Projet d'une dixme royale*, 1707.